الفيزياء مهنتي

تأملات في العلم والحياة

ألكسندر كيتايغورودسكي

ترجمة و إعداد

أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

الفيزياء مهنتي

تأملات في العلم والحياة

ألكسندر كيتايغورودسكي

ترجمة و إعداد

أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

عضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي

بجمهورية مصر العربية

خبير تكنولوجيا الليزر من نقابة المهن العلمية بالقاهرة

عضوسابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك

لمجلس نقابة المهن العلمية بالقاهرة

2026

الكتاب : الفيزياء مهنتي: تأملات في العلم والحياة

الكاتب : ألكسندر كيتايغورودسكي

ترجمة وإعداد : أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

الطبعة الأولى : يوليو 2026

لوحة الغلاف : (تصميم الربيع)

الإخراج والتنسيق الداخلي:

الربيع للصحافة والإعلام

13 شارع القومية ـ الزقازيق ـ ت مكتب 0552379677 موبايل 01064063063

(للتواصل مع المؤلف: 01001141053)

رقم الإيداع 2026/ 16317

الترقيم الدولي 978/977- 95 - 7648 -0

يسمح المؤلف بالاقتباس من كتابه للباحثين، مع الإشارة إلى المصدر

مسلسل	الفهرس	الصفحة
1	المقدمة	5
2	الفصل الأول: المسارات والأهداف	7
3	الفصل الثاني : حديث حول استخدام العلم	24
4	الفصل الثالث: لسنا في جزيرة غير مأهولة	33
5	الفصل الرابع : لدينا ندوة اليوم	46
6	الفصل الخامس : أبواب العلم	59
7	الفصل السادس : بعض التاريخ	72
8	الفصل السابع: الهجوم الأول على الفطرة السليمة	88
9	الفصل الثامن : الاستسلام	102
10	الفصل التاسع : الزمن الحاضر	116
11	الفصل العاشر: الكيمياء	133
12	الفصل الحادي عشر: البيولوجيا	147
13	الفصل الثاني عشر: علم النفس	157

14	الفصل الثالث عشر: الفيزيائيون يمارسون العلم	170
15	الفصل الرابع عشر: طريقك واسع	187
16	الفصل الخامس عشر: الفيزيائيون والشعراء	207
17	ختامًا بقلم ألكسندر كيتايغورودسكي	220
18	نبذة عن المؤلف	223

المقدمة

الأستاذ ألكسندر كيتايغورودسكي، الحاصل على درجة الدكتوراه في الفيزياء والرياضيات، معروف ليس فقط بين زملائه في الوسط العلمي، بل يحظى أيضًا بشعبية واسعة بين جمهور القراء، نظرًا لكونه من أبرز المروجين للعلم بأسلوب مشوّق.

في كتابه "أنا فيزيائي"، يتناول البروفيسور كيتايغورودسكي مهمة صعبة ولكن جديرة بالاهتمام، ألا وهي تقديم عالم العلوم للقارئ الشاب، ومساعدته على رؤية العالم من حوله من خلال عيون فيزيائي. وقد نجح نجاحًا ملحوظًا في هذه المسعى؛ فهو عالم مغرم بمهنته، وينقل تعقيد القضايا التي تواجه الفيزياء الحديثة، وشدة السعي العلمي، والحماسة المرتبطة به بأسلوب مبدع وخيالٍ حي.

إن التعدد في اهتمامات كيتايغورودسكي ليس فيه أي نقص، بل يُعد من أبرز سماته. فطيف الأسئلة التي يطرحها مذهل بالفعل: ما هو مقياس الصبر؟ هل التخاطر العقلي ممكن؟ هل تُبرّر النفقات على البعثات والمؤتمرات العلمية؟ ما مدى أهمية العلوم الطبيعية مقارنة بالعلوم التطبيقية؟ ماذا تعني كلمة "تفسير"؟ ما الفرق بين الإنسان والآلة؟ كيف تغيّر

التفكير الفيزيائي منذ زمن أرسطو؟ وكيف يختار الشاب مهنته؟

وكل هذه الأسئلة لا تمثل إلا جزءًا مما يتطرق إليه. ورغم تنوع المواضيع، إلا أن للبروفيسور كيتايغورودسكي هدفًا واضحًا ومحددًا، يتمثل في كشف دور الفيزياء في العلوم الطبيعية، ودور العلوم الطبيعية في العلم والحياة.

الفصل الأول: المسارات والأهداف

الهدف من العلم هو فهم الطبيعة والسيطرة عليها لخدمة الإنسان. العلم الطبيعي يُفسّر الأشياء من حولنا، ويبحث عن طرق جديدة لتحقيق أهدافه.

على مر ملايين السنين، طوّرت الطبيعة في الإنسان رغبة في الإبداع وصنع الأشياء: بيوت، أدوات، طرق، وكل ما يساعده على الحياة. هذا الدافع بدا واضحًا منذ الإنسان الأول الذي كان ينحت كهفًا في الجبل ويستخدم الحجر والعصا لبناء مسكنه. من يمتلك هذا الشغف يصبح مخترعًا أو مهندسًا أو عالمًا في الزراعة. وإذا كان لا يرضى بتكرار أفكار الآخرين، بل يريد أن يبتكر شيئًا جديدًا، فإنه يصبح من قادة الحضارة.

لكي يساهم الإنسان في تطوير الحياة وتحسينها، عليه أن يعرف ما حدث قبله من نجاحات وإخفاقات. يجب أن تكون لديه ذاكرة قوية، ومثابرة لا تهتز. مثل إديسون الذي جرب مئات المواد قبل أن يجد المادة المناسبة لمصباحه الكهربائي.

هؤلاء الأشخاص لا يرتاحون حتى يروا نتائج عملهم تتحقق، ويصل أثرها إلى الملايين. ولا يكفي أن يعملوا، بل يجب أن يُثبتوا صحة أفكارهم. المجتمع غالبًا ما يخاف التغيير ويُقاوم

الأفكار الجديدة، ولهذا يحتاج المبدع أن يكون دبلوماسيًا ويعرف كيف يقنع الآخرين.

وفي النهاية، الأفكار الأفضل هي التي تنتصر—غالبًا، لكن ليس بسهولة. يتطلب ذلك جهدًا وصبرًا وتضحية من الأشخاص الذين يسعون لتطوير الحياة دون انتظار مقابل. فهم لا يبيعون أفكارهم، ولا يتخلون عنها مقابل المال. لقد قابلت الكثير منهم، وأُعجبت دائمًا بإخلاصهم وحماسهم. رغم الصعوبات، يشعرون بسعادة كبيرة عندما ينجحون، ويكفيهم أن يعترف الناس بجهدهم، فذلك يُعوّضهم عن كل التعب والوقت الذي بذلوه. بالنسبة لكثيرين، هذا هو المعنى الحقيقي للعلم.

في بيت والدي، الذي كان يعمل على ابتكار مواد جديدة، كانت المعرفة تُقيّم بناءً على فائدتها العملية. كان المطلوب أن نتعلم لنصنع آلات أفضل، فولاذ أقوى، وطائرات أسرع. حين كنت صغيرًا وسُئلت عن طموحي، كنت أجيب فورًا: "أريد أن أعمل في مجال العلم ."وعندما كانوا يسألونني: "أي علم؟ " كنت أقول: "لا أعرف بعد، لكن ربما أصنع بيوتًا من الزجاج، أو أُحسن الآلات الكهربائية".

لاحقًا أدركت أن للناس أفكارًا مختلفة عن معنى "العلم". كنت في سن الرابعة عشرة تقريبًا، وبدأت أزور مكتبة

روميانتسيف بانتظام (التي تُعرف اليوم بمكتبة لينين). في البداية، كنت أقرأ الكتب المرتبطة بالدروس المدرسية. إذا تحدث معلم الجغرافيا عن الهند، كنت أقرأ عن عادات الهنود. وإذا ذكر أستاذ الأدب الثوار الروس، كنت أبحث عن مذكراتهم.

لكن بمرور الوقت، بدأت أختار كتبي بناءً على الأحاديث التي كنت أسمعها في غرفة التدخين بالمكتبة، والتي كانت مثل نادٍ ثقافي. صحيح أنني بدأت التدخين مبكرًا، لكني لا أندم، لأن هذه اللقاءات والنقاشات كانت من أجمل الذكريات، وفتحت لي بابًا نحو كتب لم أكن سأكتشفها وحدي.

كان من بين رواد الغرفة شاب يُدعى "فاليري"، مظهره غريب، لكن ما ميّزه هو خطاباته الحماسية، خاصة عن هدف الإنسان في الحياة. كان يعتقد أن طموحات الناس يمكن تصنيفها حسب أهميتها، ومنه سمعت لأول مرة أفكارًا عن العلم تختلف تمامًا عن تلك التي تعلّمتها في بيتي.

كان يقول: "الفكر النفعي اختراع من المجتمع البرجوازي. فرانسيس بيكون هو من قال إن البحث عن المعرفة لا معنى له ما لم يكن له فائدة عملية".

كان فاليري يتحدث بانفعال، وهو يُلوّح بسيجارته قائلاً: "يمكنني أن أتخيل تاجرًا سمينًا ينصح ابنه قائلاً: من يهتم

بالشعر أو الرسم أو المعرفة التي لا تُفيد؟ لا يهتم بها سوى قِلّة غريبة مثلك! ما يريده الناس هو الملابس والبيوت الدافئة. ساعدهم في ذلك، وستحصل على الاحترام والثروة".

ثم قال وهو ينفث دخان سيجارته" :من المفترض أن أي شخص ذكي يشعر بالاشمئزاز من هذا التفكير المادي الضيق، لكن انظر كيف يتردد الناس في الاعتراض عليه. الأسوأ أنهم يضعون هذا الفكر في أساس كل ما ينتجه العقل البشري. من المحزن أن يُقال إن الشعر مفيد فقط كوسيلة للترفيه بعد العمل، أو أن المعرفة المجردة مفيدة فقط عندما تتحول إلى منتج رخيص مثل النقانق. هل يُعقل اختزال طموحات الإنسان في مجرد إشباع حاجته للطعام؟ وحدهما العلم والفن، عندما يكونان بلا هدف مادي مباشر، يرفعان الإنسان فوق مستوى الحيوان".

ردّ عليه بعض الشباب" :أنت تقول كلامًا غير واقعي! الإنسان الجائع لا يهتم بالفن ولا بحجم الذرة. يجب أولًا أن نشبع الناس، وبعد ذلك نفكر في أرواحهم".

لكن نادرًا ما كان أحد يدافع عن بيكون. أغلبهم اتفق مع فاليري من حيث المبدأ، لكنهم اعتبروا كلامه في غير وقته.

قالوا: "صحيح أن المجتمع لا يمنعك من ممارسة الفن أو العلم البحت، لكن لا تتوقع الامتنان من عالم ما زال فيه الملايين يفتقدون الطعام والأحذية. ربما عندما يأتي العصر الذهبي"...

وذات مرة، حين كنت وحدي مع فاليري، سألته بخجل: "ما أهداف العلم، إن لم تكن صنع الأشياء المفيدة؟"

ردّ فورًا: "الهدف من العلم هو اكتشاف الحقائق الجديدة والعلاقات بين الظواهر".

قلت متعجبًا: "وهذا هو هدف العلم؟"

قال: "لا، اكتشاف الحقائق الجديدة هو مجرد الأساس. العلماء الأكفأ هم من يبنون الأدوار العليا من بناء العلم، وهم من يستخدمون هذه الحقائق لاستخلاص القوانين العامة، والعلاقات بين الأشياء".

مثلاً، بعد جمع معلومات كثيرة عن التوصيل الكهربائي للمواد، قد يُلاحظ العالم أنها تنقسم إلى نوعين: مواد يزداد توصيلها للكهرباء مع ارتفاع الحرارة، ومواد يقل توصيلها. ثم يكتشف العلماء أن هذه الفئات تختلف في التركيب الإلكتروني لذراتها، ومن هذه القوانين الخاصة تنشأ مفاهيم أوسع تربط بين الخصائص الكهربائية وبنية المادة.

ثم استمر في الشرح وقال إن نفس الأمر ينطبق على علم الأحياء أو التاريخ. فمثلاً:

- العالم الذي يكتشف أن النحاس يقل توصيله للكهرباء عند ارتفاع الحرارة، يضيف بذلك معلومة جديدة للعلم.
- الباحث الذي يكتشف نوعًا جديدًا من النمل في أستراليا، يُسهم في توسيع المعرفة العلمية.
- المؤرخ الذي يُثبت من خلال الوثائق أن الثورة الفرنسية لم تكن محبوبة لدى سكان المدن الألمانية، يُضيف حقيقة جديدة.

هذه الاكتشافات، بفضل جهود جماعية من الباحثين، تؤدي إلى فهم أعمق للقوانين التي تحكم تطور الكائنات والمجتمعات.

سألته: "إذا كان شخص يحاول تحسين جودة الفولاذ، ألا يُعتبر هذا عملًا علميًا؟"

قال بتأمل: "ربما نُسميه شيئًا آخر. صحيح أن هناك اكتشافات تظهر أثناء هذا العمل، لكنها ليست الهدف الأساسي".

ثم أوضح أن صناعة الأدوية أو تصميم الآلات الحديثة أو تحسين الزراعة، كلها تقع ضمن نطاق العلوم التطبيقية، مثل

الفيزياء الهندسية، الهندسة الميكانيكية، الكيمياء التقنية، والطب.

فهذه العلوم تنمو لتلبية احتياجات البشر، كالبحث عن مصادر طاقة جديدة أو بدائل للأقمشة، ولهذا ظهرت الطاقة النووية والألياف الصناعية.

لكن الإنسان لا يعيش فقط في عالم الأشياء المادية، بل يسعى لفهم لماذا تسير الأشياء بهذه الطريقة، وكيف ترتبط الظواهر ببعضها، وما هي بنية العالم من حولنا، وهذا ما تجيب عليه العلوم الطبيعية، والتي تهدف إلى فهم الطبيعة.

وأوضح أن تقسيم العلوم إلى "طبيعية" و"تطبيقية" ليس مجرد تقسيم أكاديمي، بل هو ضروري لفهم جوهر كل مجال، ولا يمكننا التمسك بعادات قديمة تقسم العلماء حسب تخصصهم، لأنهم جميعًا يشاركون في بناء المعرفة البشرية.

خاصية مميزة في العقود الأخيرة هي تحطيم الحواجز بين فروع العلوم الطبيعية. فالتفاعلات الكيميائية، والعمليات البيولوجية، والظواهر في العالم غير الحي، تُدرس الآن باستخدام نفس الأساليب وتستند إلى نفس الأسس النظرية.

وأحد أهداف هذا الكتاب هو إظهار كيف أن العلماء في شتى فروع العلوم الطبيعية قد اجتمعوا تحت راية واحدة.

بعد أن وضّحت ما المقصود بالعلوم الطبيعية، أود أن أشرح للقارئ كيف تبدو تجربة علمية واحدة ضمن هذا المجال، وسأفعل ذلك من خلال مثال يخصّ تخصصي. ولكن أولاً، أود أن أروي كيف اخترت هذا التخصص.

كنت أعرف شيئًا واحدًا فقط: أنني أريد أن أعمل في مجال العلم. لكن، في أي علم تحديدًا؟

تدريجيًا بدأت أستبعد بعض الخيارات.

أول ما رفضته كان التكنولوجيا، ليس لأنها غير جذابة، بل لأنني كنت أميل إلى التفكير التحليلي الهادئ، ولم أكن أحب القفزات المنطقية السريعة التي غالبًا ما تميز العلوم التطبيقية بسبب سعيها المحموم لتحقيق أهداف عملية. ولم يكن لديّ رغبة في رؤية نتائج فورية لعملي؛ كانت الفكرة الجديدة بالنسبة لي أكثر قيمة من الأداة الجديدة.

ثم استبعدت العلوم الإنسانية، لأنني وجدت أن الأحكام الصادرة فيها غالبًا ما تكون غير واضحة وتعتمد على حقائق ضئيلة.

أما علم الأحياء، فكان يبدو لي في شبابي وكأنه مجموعة فوضوية من المعلومات، ولا توجد فرصة حقيقية للتحليل الدقيق أو البحث عن قوانين عامة تنظم حياة الكائنات (واليوم

أندم على ذلك الانطباع، فالأحياء أصبحت علمًا دقيقًا أمام أعيننا).

الرياضيات البحتة لم تجذبني أيضًا.

النمط الذي يناسبني هو: تحليل الحقائق، البحث عن قوانين عامة، ثم اختبارها بالتجربة. وهذا بالضبط ما تقدمه الفيزياء. لذلك، كانت الفيزياء هي مهنتي.

اختياري لمجال الفيزياء كان منطقيًا ومتسقًا مع ميولي العامة، لكن اختيار التخصص الدقيق داخله جاء عن طريق المصادفة.

قبل سنتين من تخرجي، بدأت العمل في مختبر في مجال يُعرف باسم "تحليل البلورات باستخدام الأشعة السينية". وكان ذلك في وقت كانت فيه البحوث البحتة تُهمّش، بل وكان الباحثون يتقاضون رواتب أقل من المهندسين، ولهذا كان أصدقائي الذين اتجهوا للهندسة ينظرون إليّ بتعالٍ.

كل واحد منهم كان قادرًا على وصف هدف عمله بوضوح: أحدهم كان يعمل على تطوير القطارات الكهربائية، وآخر يُحسن البوصلات الميكانيكية، وآخر يصمم الطائرات.

يتحدثون بحماسة عن أعمالهم، وأفكارهم تُفهم بسهولة، ويستمع الناس إليهم باهتمام. وأنا أيضًا أردت أن أتحدث عن

إنجازاتي، فقلت لهم يومًا: "لقد استطعت تحديد المسافة بين الذرات في جزيء حمض الأحماض الأمينية".

فقال أحدهم فورًا: "ما الفائدة؟"

قلت: "هذه المسافات لم تكن معروفة من قبل".

فردّ: "وماذا بعد؟ من يهتم بهذه المعلومات؟"

لم أستطع الرد، واكتفيت بالصمت. السؤال "ما الفائدة؟"، الذي يبدو بسيطًا في العلوم التطبيقية، هو سؤال صعب جدًا في العلوم الطبيعية، ويحتاج إلى توضيح كبير.

تحديد المسافات بين الذرات في جزيء ما هو حلّ لمسألة في تخصصي الصغير، تحليل البلورات بالأشعة السينية. ورغم أنه فرع ضيق، فهناك عشرات الآلاف من العلماء حول العالم يعملون على دراسة البنية البلورية باستخدام هذه التقنية، بهدف تطوير الأساليب التجريبية والرياضية لتكون أكثر دقة وسرعة، ومعرفة تركيب المواد في الحالات التي لا يمكن فيها التنبؤ مسبقًا.

وبنفس الطريقة، كل تخصص علمي يتطوّر وفقًا للأهداف التي يسعى إليها.

لا يوجد في المجتمع العلمي من يشكك في أهمية تطوير هذه الأساليب أو معرفة البنية البلورية للمواد. حتى العلماء في مجالات أخرى لا يعترضون على ذلك.

فما الفائدة إذًا؟ الجواب الأفضل هو ما قاله زميلي في المكتبة: اكتشاف الحقائق التي لا تزال مخفية عن العلم. كل حقيقة جديدة، وكل وجهة نظر جديدة، مهما بدت صغيرة، ستصبح ذات فائدة عاجلًا أو آجلًا. قد تأخذ سنوات أو حتى عقود، لكنها في النهاية ستفيد باحثًا آخر، وتُسهم في اكتشاف أكبر.

مثلاً، من دون فهم بنية الجرافيت، لما أمكن تصميم مفاعل نووي. ومن دون تطوير الأساليب الرياضية لتحليل الأشعة السينية، لما أمكن كشف بنية الجين، وبالتالي فهم الوراثة.

لذلك، فإن عمل من يدرسون البنية البلورية باستخدام الأشعة السينية يُعدّ جزءًا أساسيًا من تطور العلم ككل.

إن المثال المذكور ليس سوى اختيار عشوائي، فكل فرع من فروع العلوم الطبيعية يشارك بدرجة ما في الإنجازات العلمية والتقنية الكبرى، سواء كان التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء أو علم السعرات الحرارية، أو نظريات مثل اللمعان والامتزاز، أو التحولات الرياضية مثل "فوريه"، أو حتى النظرية النسبية. هذه الفروع، مثل العلم كله، تسعى لحل مشكلاتها الخاصة. لكن أي بحث علمي يضيف جديدًا، حتى

وإن بدا في البداية غير مهم، قد يتحول في النهاية - بعد مرور عبر العديد من الخطوات والروابط - إلى جزء من اكتشاف كبير ومؤثر.

خذ أي ورقة علمية، ستجد في نهايتها قائمة بالمراجع، اعتراف من المؤلف بأنه استفاد من أعمال علماء آخرين، سواء باقتباس أفكار أو اكتشاف حقائق جديدة. حتى الورقة الصغيرة تحتوي في المتوسط على عشرين مرجعًا. ومن النادر أن يكون أصحاب هذه المراجع قد تصوروا من سيستفيد من أبحاثهم، بل إن الورقة تضم الكثير من الأفكار غير المُعترف بها التي ساهمت في تشكيلها.

كل بحث علمي جيد (أي الذي ينجح في حل إشكالية حقيقية) يذوب في الأبحاث التي تلحقه. فكما تتكون الكلمات من حروف، والجمل من كلمات، فإن الأفكار العلمية الجديدة تتشكل من تراكمات أعمال الباحثين، وتؤدي إلى ولادة نظريات أو انهيار أخرى، وتمهد لاكتشافات قادمة.

وهنا يظهر الفرق بين الفن والعلم. فالفن عمل متكامل يمكن تقييمه في حد ذاته. أما البحث العلمي فلا يكتمل بذاته، بل يكتسب قيمته من خلال ما سبقه وما تبعه. وإذا شَبّهنا العلم بمبنى ضخم، فإن كل بحث علمي هو مجرد طوبة في هذا البناء.

الفن يحتفظ بقيمته بمرور الزمن، ويُلهم الناس حتى بعد مئات السنين. أما العلم، فطريقه مستقيم، وكل فكرة هي خطوة على هذا الطريق، لا قيمة لها منفردة، بل تُمهد للخطوة التالية ثم تتلاشى من الخلف.

عمر الورقة العلمية قصير؛ ربما لا يتجاوز 30 إلى 50 عامًا، وهو الزمن الذي يستغرقه اندماجها الكامل في أبحاث الآخرين. فالأفكار الجيدة تُمتص، والباقي يُهمل، وتصبح الورقة مثل ليمونة تم عصرها بالكامل.

وهذا المصير لا يخص الباحثين العاديين فقط، بل حتى أعظم علماء الفيزياء مثل نيوتن وماكسويل وأينشتاين. اليوم، تُعتبر أعمالهم مهمة فقط للمؤرخين، بينما تصل أفكارهم إلينا عبر تلخيصات حديثة. الزمن يصقل أعظم الاكتشافات، ويُعيد تشكيلها، وأحيانًا يغيّرها كليًا. فالميكانيكا الحديثة، التي بدأت بأفكار نيوتن، لم تعد تشبه ما كتبه بنفسه.

ربما تُساعد هذه الفكرة في فهم لماذا يصعب تقييم بحث علمي واحد بشكل مستقل.

وعندما يتحدث عالم طبيعي عن إنجازاته لعامة الناس، فإنه غالبًا ما يضطر إلى التبسيط، فلا يتحدث عن مساهمته الخاصة، بل عن أهمية المجال الذي يعمل فيه، لأن شرح الأثر الفردي بلغة بسيطة يكاد يكون مستحيلاً.

طبعًا هناك استثناءات، فبعض الاكتشافات يبرز أثرها فورًا، مثل اكتشاف "لي ويانغ" لخاصية جديدة في الجسيمات الأولية، أو اكتشاف "موسباور" لتأثير جديد في تفاعل أشعة جاما مع المادة، وقد حصل هؤلاء على جائزة نوبل سريعًا بعد إنجازاتهم.

لكن معظم الاكتشافات لا تنال التقدير إلا بعد سنوات طويلة. مثلاً، "تشيرينكوف" اكتشف ظاهرة جديدة عام 1934، ولم تُقدّر إلا بعد 25 عامًا، حين تم استخدام اكتشافه في تصنيع كواشف الإشعاع النووي. كذلك نال "لانداو" نوبل عن أعمال نفذها قبل الحرب العالمية الثانية. أما "زافويسكي"، فقد اكتشف امتصاصًا خاصًا للموجات الراديوية عام 1945، ولم يتوقع أحد أن يؤدي ذلك إلى نشوء فرع كامل من الفيزياء: دراسة المادة بالرنين المغناطيسي.

لهذا يصعب كثيرًا تقييم عمل الباحث في العلوم الطبيعية، بينما يمكن بسهولة قياس أداء مشرف في مصنع مثلاً بعدد المنتجات وجودتها.

قيمة العامل في مجال العلوم التطبيقية تظهر بوضوح وسرعة. فعندما يبتكر مادة جديدة، يمكن الحكم على ميزاتها مقارنةً بما هو متوفر. وعندما يطوّر طريقة تصنيع جديدة،

تظهر الأرقام مدى تفوقها على الطرق القديمة. في هذه الحالات، يكفي تقييم المحاسب كدليل على النجاح.

لكن، في مجال العلوم الطبيعية؟

كثيرًا ما يُطلب مني تقييم أوراق علمية أو رسائل أكاديمية أو تقارير بحثية. كيف أقيّمها؟ الأمر الأساسي هو تحديد درجة الجِدة. البحث الذي لا يقدم شيئًا جديدًا لا يستحق الورق الذي كُتب عليه. ولا يشترط أن يكون الجديد مبهرًا؛ فقد يستخدم الباحث أدوات وأساليب معروفة، لكن في دراسة موضوعات لم تُبحث من قبل. هل مثل هذا العمل يستحق التنفيذ؟ بالتأكيد. لكنه لا يستحق الكثير من المديح، حتى لو بذل الباحث جهدًا كبيرًا للحصول على النتائج.

الأكثر استحقاقًا للتقدير هو مَن يُقدم طريقة جديدة للقياس أو طريقة جديدة للحساب، شرط أن تكون أسرع أو أدق من الطرق السابقة. في هذه الحالة، يمكن إنهاء التقييم ببضع جمل تُشيد بمهارة الباحث وذكائه.

أما الإشادة الكبرى فتكون عندما يُكتشف ظاهرة جديدة، أو يتم الوصول إلى قاعدة أو علاقة تُمكّن من التنبؤ بنتائج التجربة بدقة من خلال التفكير النظري.

حتى الآن، كان التقييم يعتمد على معايير موضوعية. لكن عندما نحاول تحديد أهمية البحث العلمي، نحتاج غالبًا إلى

الحدس لتقدير مدى تأثير الحقائق أو القوانين المكتشفة، وهل ستُسهم فعلاً في تطور العلم ككل—وهذا لا يظهر عادةً إلا بعد سنوات، وربما عقود.

النتيجة التي أريد إيصالها للقارئ بسيطة: ساحة العلوم الطبيعية واسعة ومترابطة، ويُسهم آلاف الباحثين في دفعها للأمام. كل واحد منهم يُضيف لبنة جديدة من خلال اكتشاف حقيقة علمية في عمله.

حسنًا، لكن ما هو الهدف من العلوم الطبيعية ككل؟ الجواب هو: فهم العالم واكتشاف الجديد. ولماذا؟

قال أحد المفكرين: "تاريخ البشرية هو سعي مستمر من الظلام إلى النور. ولهذا، لا فائدة من مناقشة أهداف المعرفة: الإنسان يريد أن يعرف، وإذا فقد هذه الرغبة، سيتوقف عن أن يكون إنسانًا".

فحب المعرفة لا يحتاج إلى تفسير؛ إنه تعبير عن متعة الحياة.

الإبداع العلمي من أنبل وأروع المشاعر الإنسانية. وهناك اعترافات كثيرة تعبّر عن هذه المشاعر. مثل هذا القول المأثور من أحد المفكرين القدماء:

"أنا أعلم أنني فانٍ، وأن حياتي مليئة بالألم. ولكن عندما أدرس النجوم، لا تعود قدماي على الأرض، بل أقف بجانب الخالق، وأشعر أنني صرت من أهل السماء".

في الحقيقة، فإن فهم الطبيعة، ومعرفة أسرارها، والقدرة على التنبؤ بما سيحدث بدقة، تمنح الإنسان شعورًا بالفخر العميق، والسعادة الكبيرة، وتُعزز ثقته بنفسه. لا شيء يتفوق على المعرفة والعلم في منح الإنسان قوة داخلية. من يعرف الطبيعة يشعر وكأنه صانعها، يشعر بالقوة، ولا يحتاج إلى دعم خارجي.

لذلك، لا حاجة لتفسير سبب دراسة الإنسان للطبيعة .لكن يبقى سؤال أخلاقي مهم: هل من حق العالم الطبيعي أن يُتابع بحوثه في عالم مليء بالملايين من الجياع والمتألمين؟ ألا يجدر به أن يُسخّر علمه لخدمة الحاجات العملية المباشرة؟

الجواب هو: لا، لا ينبغي للعالم المتخصص في العلم النقي أن يُعاني من تأنيب الضمير. لأن تقدم العلوم الطبيعية يقود دائمًا إلى ثورات تقنية متتالية، تُسرّع بشكل كبير وصول البشرية إلى حياة أفضل للجميع. ولهذا، فإن عمل العلماء هو شأن يهم المجتمع كله الذي يعيشون فيه.

الفصل الثاني: حديث حول فائدة العلم

...وهو فصل يحاول فيه الكاتب، مستندًا إلى وقائع من سيرته الشخصية، أن يُقنع القارئ بأن العلوم الطبيعية، رغم كونها تهدف إلى فهم العالم من حولنا، فإن لها فائدة كبيرة.

في الفترة من عام ١٩٣٦ إلى ١٩٣٨، عندما بدأتُ مسيرتي العلمية، كان أحد أبرز المعاهد في مجال الفيزياء هو "المعهد الفيزيائي التقني" في مدينة لينينغراد، والذي كان يرأسه العالم الكبير والمنظّم الفذ إبراهيم يوفه، الذي لعب دورًا لا يُقدّر بثمن في تأسيس الفيزياء السوفييتية. وربما نصف علماء الفيزياء البارزين في البلاد كانوا بطريقة أو بأخرى من تلاميذه أو من خريجي مؤسسته.

في تلك الفترة، لم يكن المعهد تابعًا لأكاديمية العلوم، بل لوزارة الصناعة الهندسية التي كانت مقرها في موسكو. ولهذا كانت جميع الخطط والموازنات وتعيينات العاملين تُقرّ هناك، وكان من الضروري التواصل المستمر مع الوزارة.

وكان يوفه يرى أنه بحاجة إلى من يمثّل مصالح المعهد أمام الوزارة، فاختارني، ولحسن الحظ، كنت أنا ذلك الشخص.

رغم أن فترة عملي تلك كانت قصيرة، فقد أتاحت لي رؤية كيف كان يوفه يخطط لأبحاث تبدو حينها غير واعدة، لكنه كان شديد الإيمان بأهميتها المستقبلية.

أتذكر زياراتي إلى نائب الوزير أو مدير القسم، حاملًا خطط المعهد ومُدعّمًا بشرح يوفه (بعد زيارات عديدة قمت بها إلى لينينغراد لأطلع على سير العمل)، فكنت أتمكن بسهولة من إقناع المسؤولين العمليّين بأهمية تطوير فيزياء "أنصاف النواقل"، رغم أن هذا المجال كان في بدايته، إلا أنه أظهر إمكانيات مذهلة من خلال خلايا كهربائية ضوئية بسيطة.

كنت أحمل تلك الأجهزة الصغيرة، التي تشبه حبات الذرة، إلى مكتب نائب الوزير، وأوصلها بجهاز قياس، ثم أقرّبها من مصباح كهربائي، فتتحرك الإبرة بسرعة، وبعد ذلك أضع قطعة من الخشب الأسود بين المصباح والخلية، فيضعف التيار قليلًا فقط.

قلت له: "كما ترى، هذه الخلية تستجيب للأشعة تحت الحمراء".

كان هذا العرض مقنعًا إلى درجة أنه تم تخصيص ميزانية لتطوير هذه المختبرات دون أي اعتراض.

لكن المشكلة ظهرت حين وصل مدير المكتب إلى البند الخاص بمختبر الفيزياء النووية، حيث كان يوفه يُصرّ على طلب جهاز يُسمّى "معجّل نووي."

قال المسؤول بتردد: "ما فائدته؟"

أجبته: "تحليل نواة الذرة يُعد من أكثر المواضيع إثارة في الفيزياء الحديثة".

ردّ: "لكن تكلفة هذه الإثارة باهظة جدًا. من غير المعقول أن يتم الاستثمار في مختبرات تتعامل مع أجزاء صغيرة جدًا من المادة، لا يمكن بناء أي تقنية عليها".

لم يكن هناك ما يُقال للرد. فآنذاك، لم يكن أحد يعرف كيف يمكن أن تخدم الفيزياء النووية أي غرض عملي. فالعقل الحذر لم يكن ليسمح بذلك، إلا أن الإيمان بقوة العلم هو ما كان يُواجه هذا الرفض.

وكانت الحجة الداعمة لتطوير الفيزياء النووية مماثلة لما قاله أحد أعلام الهندسة وصناعة السفن، أليكسي كريلوف:

"الفرن العالي يُنتج نصف مليون طن من الحديد سنويًا، بينما الجهاز النووي، بحجمه وتكلفته نفسها، يُنتج فقط جزءًا ضئيلًا من الذرات المنقسمة. ومع ذلك، أنا أذكر جيدًا عندما كانت استخدامات الكهرباء لا تتعدى التلغراف والجرس الكهربائي

وتقنية الطلاء الكهربائي. والآن! لقد أصبح العلم قوة لا حدود لها، تمامًا كما أن تطبيقاته المفيدة للبشر لا حدود لها".

كلمات عظيمة وملهمة، لكنها تظل غائمة بعض الشيء عندما نتذكر أن أبحاث الفيزياء النووية لم تُنتج فقط محطات الطاقة الذرية، بل أدّت أيضًا إلى القنبلة الذرية.

لقد ظنّ البعض أن العالم فاراداي كان محظوظًا عندما صادف لحظة نظر فيها إلى مؤشر جهاز القياس المتصل بسلكٍ ملفوف، أثناء إدخاله مغناطيسًا في هذا الملف. وقيل أيضًا إن العالِمَين هان وستراسمان كانا محظوظَين عندما اكتشفا عام 1939 أن النيوترونات البطيئة تُفكك نوى اليورانيوم. لكن الأهمية الحقيقية لهذا الاكتشاف، وهي الانفجار الذري، لم تظهر إلا بعد أشهر قليلة.

تاريخ العلوم الطبيعية مليء بأمثلة لاكتشافات أحدثت تغييرات ثورية في تطور الحضارة. يكفي أن نذكر اكتشاف فاراداي لقانون الحثّ الكهرومغناطيسي، الذي أصبح أساس الهندسة الكهربائية، وبالتالي أساس الحضارة الحديثة كلها. ومع ذلك، لم يتم إدراك أهمية هذا الاكتشاف حينها. بل يُقال إن فاراداي عندما سُئل عن التطبيقات المحتملة لقانونه، أجاب بأنه قد يُستخدم لصنع ألعاب غريبة.

وهناك أمثلة كثيرة من المستوى الأدنى، مثل اكتشاف الأشعة النافذة، وتأثير الضوء على الكهرباء، وتخليق المطاط الصناعي...

من المهم أن ندرك أن هذه الاكتشافات وغيرها لم تكن مفاجآت عشوائية، بل كانت نتيجة تطور طبيعي ومنطقي للعلم. من السذاجة أن نتخيل أن رنتجن كان يبحث عن أشعة غير مرئية، أو أن فاراداي كان يبحث عن قوانين لبناء مولدات كهرباء، أو أن هان وستراسمان كانوا يهدفون إلى اكتشاف الطاقة الذرية. وفي الوقت نفسه، من الخطأ القول إنهم كانوا مجرد محظوظين. فهذه الاكتشافات كانت "ناضجة"، أي في وقتها المناسب، وكان الجو العلمي مهيّأ لها، وما فعله هؤلاء العلماء أنهم رأوها قبل غيرهم.

هنا يمكن أن ننهي الحديث حول فائدة العلم. فالرغبة الإنسانية في الفهم، وإزالة الغموض، وجعل كل شيء يمكن توقعه، حتى في نظر أكثر الناس عمليّةً، تُبرّر تمامًا الجهود المبذولة لدفع عجلة العلوم إلى الأمام. ومن دون هذا التقدّم، ومن دون جيش الباحثين الذين يعملون في الظل، لم يكن لهذه الاكتشافات أن تحدث.

وهذا ما يفسّر لماذا تُعدّ تنمية العلوم النظرية – في الفيزياء، الرياضيات، الكيمياء، والبيولوجيا – قضية وطنية، ولماذا

تُخصّص لها ميزانيات على قدم المساواة مع نفقات الدولة الأخرى.

ورغم أن الكثير من القرّاء سيرون في هذا التفسير ما يكفي، إلا أنني أرغب في الرد على الفئة الصغيرة المتشكّكة، منهم من لديه بعض التعليم والخبرة العملية.

قد يقول أحدهم: "أنت تقول إن الثورات التقنية مرتبطة بالاكتشافات العلمية، وهذا صحيح، وقد قدمت أمثلة جيّدة. لكن اسمح لي أن أقدّم أمثلة معاكسة: فهناك فروع كثيرة من التقنية وصلت إلى درجة عالية من التطوّر قبل أن يظهر العلم أساسًا. أجدادنا الذين لم يعرفوا شيئًا عن قوانين الفيزياء أو الكيمياء، كانوا قادرين على بناء القلاع الفخمة، وصنع الزجاج الكريستالي الرائع، وصهر المعادن. وحتى عصر البخار بدأ دون أي مساهمة علمية. فمثلاً، وايت وبولزُنوف لم يكونوا يعرفون شيئًا عن قوانين الحرارة وتحويلها إلى طاقة. وكذلك إنتاج الفولاذ أو الزجاج تم من خلال التجربة والخطأ، وليس نتيجة لتحليل علمي أو دراسة قوانين طبيعية. فالعاملون في هذه المجالات نجحوا في حلّ مشكلاتهم دون مساعدة العلم النظري."

وهذا صحيح جزئيًا. لقد وُلدت كثير من التقنيات وتطوّرت دون تدخل مباشر من العلم. لكن حين بدأ العلم الطبيعي يُحقق إنجازات كبيرة، وبدأت أفكاره تتسرّب إلى جميع العلوم

التطبيقية، عادت هذه التقنيات التقليدية – التي بدا وكأنها وصلت إلى حدّها – لتنمو من جديد وبسرعة أكبر.

فعلى سبيل المثال، ورغم أن صناعة الفولاذ تعود إلى قرون مضت، إلا أنه في أواخر خمسينيات القرن الماضي تم اقتراح طريقة جديدة تُنتج فولاذًا أكثر صلابة بثلاثة أضعاف. وهذه خطوة مهمة جدًا، خاصة أن المهندسين يحاولون تقليل وزن الهياكل ببضعة في المئة فقط، أما هذا النوع الجديد من الفولاذ فيُمكّن من تقليل وزن أجزاء الماكينات بنسبة عشرة أو عشرين أو أكثر.

قبل ثلاثين عامًا، طرح العلماء النظريون أفكارًا تُفسّر لماذا لا يكون المعدن بالصلابة المتوقعة. وُجد أن بلورات المعادن تحتوي على عيوب دقيقة تُسمى "تشوّهات"، تنتشر داخل البلورة عند تطبيق قوة بسيطة. وعندما تكون هذه التشوّهات كثيرة، تُصبح البلورة سهلة الانحناء حتى تحت قوى بسيطة.

وفي بداية الخمسينيات، تم وضع رسوم تفصيلية لانتشار هذه التشوّهات، كما وُضِعت طرق لتسجيلها ورصدها داخل كل بلورة.

تابع خبراء المعادن هذه الأبحاث عن كثب، أملاً في إيجاد إجابة على سؤال مهم: كيف يمكن جعل الفولاذ أكثر صلابة؟

وقد قدمت نظرية التشوّهات (الاختلالات في بنية البلورة) إجابة واضحة: لا بد من إيقاف انتشار هذه التشوّهات.

بدأ علماء المعادن والفيزياء المعدنية يتساءلون كيف يمكن تحقيق ذلك. من الأمثلة على تفكيرهم بناءً على هذه المفاهيم أن هناك معلومة معروفة: كمية صغيرة من الكربون تُحوّل الحديد اللين إلى فولاذ صلب. وقد اتضح الدور الحقيقي للكربون، وهو أن ذراته الصغيرة تمنع انتشار التشوّهات داخل البلورة. وبذلك، لم يعد الأمر يتعلق بطبيعة العنصر الكيميائي، لأن الكربون يمكن استبداله بعناصر أخرى تُؤدي نفس الدور.

انتقلت الفكرة والتجارب من مختبرات الفيزياء إلى المعاهد المتخصصة في المعادن، ثم إلى المصانع. وقد استغرق تنفيذ الدورة الكاملة حوالي عشر سنوات.

يمكن ذكر العديد من الأمثلة المشابهة، حيث يتفاوت الوقت الذي تستغرقه الفكرة الجديدة لتطبيقها من سنة إلى عدة عقود. لكن هذا ليس هدفنا هنا.

المهم أن نُثبت أنه في الدولة التي تُطوّر العلوم الطبيعية بشكل جيّد، تكون العلوم التطبيقية مثل الهندسة، والطب، والزراعة في وضع أفضل، وتتمكن تلك الدولة من الاستفادة العملية من

الاكتشافات العلمية بشكل أسرع. بل إن الثقافة العامة في التفكير العلمي تؤثر بعمق في جميع المجالات العملية.

والمغزى من هذا الفصل هو :رغم أن العلوم الطبيعية تسير في مساراتها الخاصة ولا تُعالج مشكلات عملية بشكل مباشر، إلا أن تأثيرها على العلوم التطبيقية لا يُمكن أن يُقدّر حق قدره.

الفصل الثالث: لسنا في جزيرة غير مأهولة

...يُبيّن هذا الفصل كيف أن التفاعل الجدلي بين الحرية والضرورة هو الذي يوجّه مسارات البحث العلمي في العلوم الطبيعية.

تقريبًا كل أسبوع، يجد الباحث نفسه أمام سؤال يتكرر دائمًا: ما الخطوة التالية؟ فمساعد المختبر قد يتساءل: هل يجب استخدام فيلم أكثر حساسية؟ والمُجرّب قد يُقرر التوقف عن إجراء التجارب مؤقتًا للتحقق من الأرقام ومقارنتها بالبيانات النظرية .رئيس مجموعة تعمل في مجال معيّن قد يرى أن الوقت قد حان لاستخدام منهجية جديدة للملاحظة، فيضع تصاميم جديدة للقياس ويرسلها إلى قسم التصنيع .رئيس المختبر قد يرى أن الوقت مناسب للانتقال من الأساليب البصرية إلى طرق تعتمد على الموجات الراديوية، أو أن منحنيات التجارب الجديدة تدعو لمراجعة النظريات القديمة، أو أن المواد المدروسة يجب أن تُستبدل أو تُضاف إليها عينات أخرى .أما مدير المعهد فهو مشغول – على الأقل حين يجلس في مكتبه الإداري – بتوزيع التمويل والمهمات على المختبرات المختلفة.

يتّضح من هذا المشهد أن هناك خطًا موحّدًا ومنسّقًا في البحث داخل كل مختبر. أما الوحدات الكبرى فهي إدارية، والصغرى غالبًا مستقلة – سواء كانت فريقًا صغيرًا أو باحثًا واحدًا.

المختبر الجيد (ويقصد به أي مجموعة بحثية مستقلة) له مسارات واضحة في العمل، واهتمامات خاصة، وأسلوب علمي مميز. وغالبًا لا حاجة لذكر أسماء مؤلفي الأوراق الصادرة عنه، فالخبير يستطيع تمييز مصدرها من الأسلوب.

قد تكون المجموعة البحثية لا تزال في بداية التكوين، بلا طابع خاص، وهذا طبيعي لمدة خمس إلى سبع سنوات .لكن إذا استمرّ المختبر بدون طابع خاص بعد مرور عشر سنوات، فهذه علامة على أنه ضعيف، ولا يستحق أن يُعتبر وحدة مستقلة في الساحة العلمية. وقد يُستخدم حينها كمختبر مساعد لوحدة بحثية أقوى منه.

طريقة عمل كل مجموعة بحثية، وأسلوبها، يُحدّده قائدها أو مجموعة صغيرة من الباحثين الكبار .اسم المختبر لا يُعبّر كثيرًا عن طبيعته، لأنه يُشير فقط إلى المجال العام. وقد تحمل مختبرات أسماء متشابهة ولكن تختلف كليًا في أسلوبها، كما هو الحال في الفرق المسرحية.

لكن كيف تختلف الأساليب؟ في بعض المختبرات، يُركّز الباحثون على بناء أجهزة دقيقة ومتطورة، وعلى تطوير طرق قياس متقدّمة .وفي مختبرات أخرى، يفضّل الباحثون شراء المعدات الجاهزة، ويُركّزون بدلًا من ذلك على تحليل النتائج وتفسيرها .بعض المختبرات تدرس مجالات واسعة، وأخرى تقتصر على تفاصيل دقيقة في موضوع محدد.

ويظهر الأسلوب العلمي والاتجاه البحثي تدريجيًا، كمحصلة لعوامل عديدة: شخصية قائد المجموعة، التقدّم العام في العلوم، التطورات في المجالات المرتبطة، وتأثير المصالح الصناعية والوطنية.

دور قائد الفريق العلمي أساسي في تحديد الخطط البحثية، لأن العلوم الطبيعية لا تخضع لتخطيط مركزي دقيق .تدخل الدولة يقتصر غالبًا على توزيع الميزانيات على التخصصات المختلفة، بناءً على تقدير أهميتها في الوقت الحالي.

رئيس المختبر لا يستطيع أن يضع خطط عمل مثلما يفعل المدير في المصانع؛ لأن النتائج غير مضمونة، وغالبًا لا يمكن توقعها بدقة.

في المعاهد التابعة لأكاديمية العلوم، يُطلب من كل مختبر في نهاية كل عام أن يقدّم خطته للعام التالي. وعند تعبئة النماذج التقليدية التي تتضمن عنوان الموضوع، تقسيم العمل إلى

مراحل، والنتائج المتوقعة، يشعر العاملون بالحيرة. فمن السهل القول إننا نعتزم إجراء قياسات معينة، أو تركيب جهاز ما، أو تنفيذ تجارب محددة. لكن هل سيتم فعلاً تنفيذ كل ما خُطّط له؟

في الواقع، العمل البحثي لا يخلو من الروتين، فبعض المهام يمكن تقدير مدّتها بدقة، كتصوير الأشعة السينية أو إجراء الحسابات. وحتى بناء جهاز من مخطط جاهز يمكن تقدير زمنه تقريبيًا. لكن إن كان البحث العلمي مقتصرًا على هذه العمليات فقط، فهو ليس بحثًا حقيقيًا.

البحث العلمي لا يكون ذا معنى إلا إذا كان هدفه اكتشاف شيء غير معروف أو غير واضح. وكلما كانت نتيجة البحث غير متوقعة، زادت قيمته. قد يبدو أمر بسيط سهلًا، لكنه خلال التنفيذ يكشف تعقيدًا كبيرًا، والعكس أيضًا ممكن.

المفاجآت هي جوهر العلم. فكل باحث يحلم بأن يصادف شيئًا جديدًا لم يسبق لأحد أن لاحظه. فكل مفاجئ ومثير للاهتمام ومهم في العلم يعكس قيمة حقيقية.

في ربيع العام الماضي، كنت أقدّم تعليماتي الأخيرة لطالب الدراسات العليا "يوسف" قبل أن أغادر في إجازة. قلت له: "عملك شارف على الانتهاء. فقط عليك إثبات أن سرعة العمليات الجزيئية في المادة الصلبة تنخفض عند تكرار

التجربة. كان واضحًا لي أن البلورات التي تعمل عليها ستتدهور تدريجيًا. قم بقياس مدى انخفاض السرعة، وعندها سأعتبر عملك منجزًا".

سافرت، ثم عدت بعد شهر. ذهبت فورًا إلى يوسف وسألته عن الرسومات البيانية.

قال: "ها هي ".قلت: "انتظر، لا بد أن هناك خطأ ".ردّ بثقة: "لا، لا يوجد ".قلت: "أين منحنيات انخفاض السرعة؟ أنا أرى منحنيات تشبه القوس "!قال: "هي كذلك فعلاً".

تبيّن أن السرعة في البداية ترتفع ثم تبدأ في الانخفاض. كانت هذه نتيجة غير متوقعة تمامًا، مما يعني أن البلورة "تتأقلم" أولاً مع العملية الجزيئية، ثم تتدهور بعد ذلك. لقد اكتشف يوسف ظاهرة جديدة أضافت لقيمة بحثه كثيرًا، وكان من الطبيعي أن تُعدّل خطة البحث بشكل كامل.

هذا المثال يُظهر مدى صعوبة التخطيط للبحث العلمي الطبيعي. بل ويمكن القول: كلما ابتعد الباحث عن خطته الأولى، زاد بحثه إثارة. وعندما أقرأ نماذج الخطط التي يُطلب من الأساتذة الجامعيين تعبئتها، لا أتمالك نفسي من الابتسام. فبعد خانة "الموضوع"، تأتي خانة "عدد الصفحات المطبوعة". أفهم تمامًا كيف فكّر من صمّم هذه النماذج. فخطة المدرّس تتضمن عدد ساعات المحاضرات، والندوات،

والامتحانات، والاستشارات، ومن السهل التحقق من تنفيذها عبر السجلات. لكن ماذا عن العمل البحثي؟ هل نخطط له بعدد ساعات؟ كيف يمكن التحقق من ذلك؟

والأمر أكثر غرابة مع الباحثين النظريين، فهم يقولون: "أنا أعمل من المنزل." فكيف يمكن كتابة خطة لهم؟ ربما يُطلب عدد الصفحات في بحث علمي؟ فصفحات البحث يمكن عدّها، لكن هذا الطرح ساذج للغاية.

وفي بعض الأحيان، تظهر أبحاث عظيمة منشورة في مجلات أكاديمية مرموقة، تُحدّد عدد الصفحات المسموح بها بست صفحات فقط. وغالبًا ما تختصر هذه الصفحات سنوات من العمل والجهد العقلي، يصعب قياسها بأي وحدة زمنية أو كمية. وعلى الجانب الآخر، قرأت أطروحات مملة وضخمة من أربعمئة صفحة لا تستحق حتى المطالعة.

العلماء يعرفون تمامًا مدى صعوبة التنبؤ بنتائج البحث العلمي. لهذا، لا يستغرب أحد أن تكون خانة "النتائج المتوقعة" في النماذج عبارة عن تكرار لخانة "محتوى العمل". ومع ذلك، فمن الطبيعي أن ترغب الإدارة في معرفة ما الذي يعتزم المختبر القيام به هذا العام، وما الذي يأمل تحقيقه.

وقد سبق وذُكر أن اختيار الموضوعات يعتمد أساسًا على رئيس المختبر، وأن تقديره لقيمتها يحدّده مدى فهمه لما هو مهم ومثير في المجال العلمي الذي كرّس له حياته. وفي ذات الوقت، عليه أن يضع في الاعتبار اتجاه العمل العام داخل المعهد التابع له المختبر، وإلا فسيواجه نقدًا مهذبًا لكنه متكرر في جلسات تقويم الأداء السنوية، إلى جانب ضغوط إدارية تُجبره على مراعاة مصالح المؤسسة التي ينتمي إليها المختبر.

وإذا رأت اللجنة العلمية أن المختبر لا يُقدّر أهمية المواضيع بشكل صحيح، فسيُنتقد—وفي العادة يكون النقد مفيدًا له. فاختيار الطريق الصحيح للمختبر يعتمد أولًا على ذكاء وقدرة وبصيرة رئيسه.

يتم إجراء الأعمال البحثية أيضًا داخل أقسام الكليات والمجالس العلمية، وهذه الجهات تتمتع بحرية أكبر في اختيار موضوعاتها. السبب بسيط: فالمهمة الأساسية للكليات هي إعداد كوادر مؤهلة، والعمل التعليمي يخضع لمراقبة صارمة. أما البحث العلمي، فالأمر متروك له: إن أُجري فهو أمر حسن، وإن لم يُجرَ، فلا مشكلة—فكل ما يحتاجه رئيس القسم أو المجلس هو تعلم كيفية إعداد إجابات مناسبة للأسئلة المتعلقة بعدد الصفحات التي كتبها العاملون تحت إشرافه. وهذه، للأسف، هي الصورة الشائعة.

غالبًا ما تُجرى الأبحاث في العلوم الطبيعية داخل ما يسمى بالأقسام العامة مثل الفيزياء، والكيمياء، وعلم الأحياء، حيث يكون لرئيس القسم حرية اختيار أي موضوع للبحث فيه.

لكننا لا نعيش في جزيرة معزولة، واحتياجات الحياة لا بد أن تؤثر على اختيار الباحثين لمجالاتهم، سواء كانوا مبتدئين أو علماء متمرسين. إن مسألة التوازن بين الحرية والضرورة تُحل دائمًا في إطار من التفاعل الجدلي، حيث تؤثر العوامل النفسية والمادية على اتجاهات الباحث في اتخاذ قراره العلمي.

من الأمثلة على ذلك: الأهمية العملية الكبيرة لأنصاف النواقل دفعت إلى نمو سريع في فروع الفيزياء التي تتعامل مع المواد الصلبة. كذلك، توسعت فيزياء الجسيمات الأولية لأنها قادت إلى اكتشاف الطاقة الذرية. أما البحث في تركيب البوليمرات العالية فلم يكن ليزدهر بهذا الشكل لولا الاهتمام الصناعي بالمواد الاصطناعية.

وأقدم مثالًا من مختبري الخاص: رغم تخصصنا في دراسة تركيب المركبات العضوية، كنا مترددين في التعامل مع المركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي العالي، لأنها صعبة التكوين في صورة منظمة، مما يجعل دراستها أكثر تعقيدًا. لكن في الأربعينيات، بدأ مصطلح "البوليمرات العالية" يتكرر كثيرًا، وبدأ الكيميائيون يتصلون بنا للحصول على معلومات

حول تركيب هذه المركبات. أجبنا على بعض الأسئلة، ووقفنا عاجزين أمام أخرى، الأمر الذي دفعنا للتفكير بجدية في القوانين التي تحكم بنية هذه المواد.

وهكذا، جرّتنا الظروف تدريجيًا إلى مشاكل جديدة فرضتها التطبيقات العملية. فمن الطبيعي أن يرغب الإنسان في الشعور بأنه نافع لأكبر عدد من الناس، وأنه مساهم فعلي في تنفيذ المهام الكبرى التي يواجهها المجتمع أو الدولة. وإلى جانب هذا الضغط النفسي، يظهر أيضًا دافع مادي: إمكانية الحصول على أجهزة متطورة ومساحات إضافية "لدراسة البوليمرات"، مما يعني توسيع نطاق العمل العلمي.

وهناك الكثير من الأمثلة التي تُظهر كيف تؤثر الدوافع العملية على تسريع البحث العلمي الطبيعي. ومع ذلك، في بعض الأحيان يقاوم الباحث هذا الضغط، خاصة إذا كان تغيير مجال العمل سيؤثر سلبًا على كفاءته العلمية. فمن المعروف أن على الباحث أن يختار مجاله العلمي مرة واحدة فقط.

وأسمح لنفسي هنا بخروج بسيط عن الموضوع لأوضح هذه الفكرة. لقد حدث أن الحرب قطعت مسيرتي العلمية، وتوقف المعهد الذي كنت أعمل فيه قبل الحرب عن الوجود، وعندما حان وقت العودة لمهنتي، كان عليّ أن أبحث عن مكان جديد للعمل.

أنا بطبعي لا أرتاح للبقاء في مكان واحد، وكنت دائمًا أشعر بالضيق من ذلك. فالمشاركة في بعثة ميدانية أو جولة تفقدية في المناجم ليست جزءًا من مهام الفيزيائي الذي يدرس تركيب المادة. لذلك قررت—ما دمت سأبدأ من جديد على أي حال—أن أتجه إلى الفيزياء البحرية. فدراسة التيارات البحرية وظواهر الأمواج تبدو فرصة ممتازة لجمع بين إشباع شغفي بالبحث العلمي وتلبية رغبتي في التنقّل.

فتوجهت إلى مختبر للفيزياء البحرية، وقبلوا أوراقي، وطلبوا مني الحضور لمقابلة رئيس المختبر في اليوم التالي.

وقد كان رجلًا طيبًا ومتعاونًا...

قال لي رئيس المختبر البحري: "يا صديقي، هذا ممتاز. أنت باحث خبير في التركيب البنيوي – نعم، هناك من يطلق علينا هذا اللقب! – ومرشح للدرجة العلمية، أنا سعيد جدًا وسأقبلك فورًا. ستعمل في دراسة تركيب الجليد"...

كانت المفاجأة كبيرة لدرجة أنني لم أجد حاجة لتوضيح سبب اختياري لهذا المجال. أدركت فجأة أنه لا يمكن للناس أن يتصوروا أنني قد أتخلى عن عشر سنوات من المعرفة والخبرة بهذا الشكل. كان عليّ أن أُسلم نفسي إلى تخصص لا يتطلب السفر.

من النادر جدًا أن يترك العالِم مهنته. ليس فقط لأن خسارة المعرفة العلمية أمر مؤسف، بل لأن المجال العلمي الذي يختاره يصبح بسرعة "علاقته العاطفية"، والتخلي عنه يشبه الانفصال المؤلم.

ومن الطبيعي أن تؤثر الظروف العملية بشكل حاسم على الباحث الذي يقف في مفترق طرق علمي (أكرّر هذا لأن الحقيقة تزداد وضوحًا بالتكرار)، تمامًا كما أنه من الطبيعي أن يتمسك الباحث بمجاله، لأن تركه يُشبه خيانة القضية التي كرّس لها حياته.

سبق وأن تحدثت عن صعوبة تغيير الانتماء العلمي داخل العلوم الطبيعية، ونضيف إلى ذلك أن انتقال الباحث تمامًا إلى الجانب التطبيقي أمر نادر أيضًا.

لا أحد يُنكر حق الفنان أو الشاعر في متابعة رسالته، والباحث في العلوم الطبيعية يملك نفس الحق، وهي رسالة تسري في دمه.

هناك نوع من الناس لديهم شغف عميق لاكتشاف المجهول، ويجدون في ذلك متعة عظيمة.

لكن التعلّق بالمهنة لا يُكافأ دائمًا. بعضهم يظهر على السطح ويتلقى التقدير، والبعض الآخر يواصل العمل بصمت دون أن يُتاح له التوسع أو الدعم. أحيانًا ينتهي الطريق إلى طريق

مسدود، وهذا محزن. ولكن في الغالب، حتى البحث الهادئ يساهم بشكل أساسي في دفع العلم للأمام. وقد يحدث أحيانًا أن تتغيّر النظرة إلى مجالات معيّنة، ويصبح من كانوا في الظل فجأة في مقدمة الصفوف. وهذا ما حدث مع علماء الفيزياء النووية، وما يحدث الآن مع الباحثين في علم الأحياء الجزيئي.

أتمنى أن يشعر القارئ بروعة هذه التجربة. تخيّل أنك قد وضعت نظرية تتنبأ – على سبيل المثال – بكيفية تغيّر سعة الحرارة لبلّورة مع تغيّر الحرارة. بعد عمل طويل، ترسم منحنى نظريًا سلسًا يبدأ ببطء، ثم يتسارع، ثم يعود للبطء عند الاقتراب من النهاية. وتبدأ ببناء الجهاز اللازم لتأكيد النظرية. يمر الأسبوع تلو الآخر، ويزداد فضولك: هل كانت نظريتي صحيحة؟ هل استطعت التنبؤ حقًا؟

وأخيرًا، يصبح الجهاز جاهزًا، وتبدأ القياسات. النقطة الأولى، الثانية، الثالثة... كلها تقع على نفس المنحنى! ما أسعدك، ما أروع هذا الانتصار! تغادر المختبر في وقت متأخر، وعلى وجهك ابتسامة شاردة أشبه بابتسامة عاشق بعد لقاء بمن يحب.

بالنسبة لكثيرين، دراسة الطبيعة بهدف سدّ فجوات المعرفة تصبح شغفًا، بل معنى الحياة ذاته. ومن الطبيعي أن يكون هؤلاء في الصفوف الأولى من جيش العلماء.

كل باحث يريد دائمًا توسيع عمله، وهو يشعر دومًا أن المال لا يكفي، والمكان غير كافٍ، والمساعدين قليلون. لو مُنح

حرية كاملة، لاشترى أفضل الأجهزة المتوفرة، وعزّز فريقه الفني بمزيد من الورش، ميكانيكية وكهربائية. ويشعر بالضيق – وربما الغضب – حين يرى أن بحوثًا أقل أهمية قد نالت دعمًا أكبر. ويقول في نفسه: الناس لا يدركون قيمة عملي. لا بأس، امنحوني بعض الوقت، وسأقدّم نتائج تبهر الجميع، وسيرون أهمية هذا المجال الذي أبحث فيه.

العالِم العاشق لعلمه، الذي يُظهر أقصى درجات المنطق والدقة في تحليل البيانات، يفقد حياديته تمامًا عندما يُدافع عن القضية التي وهب لها حياته، بل هي حياته نفسها! وأنا أُعجب بهذا "الجنون الجميل"، بهذا الشغف الأناني من الطراز الرفيع.

الرغبة في التوسّع والحصول على تمويل وأجهزة أفضل تدفع الباحث أحيانًا إلى موازنة أعماله بما يُرضي الجهات التطبيقية، دون الإضرار بجوهر بحثه العلمي. فيخصص جزءًا من وقت مختبره لحل مشكلات صناعية، ويحصل بذلك على دعم يُمكّنه من إنجاز عمله الأساسي بكفاءة أكبر.

هذا التمويل الإضافي للعلم من خلال العقود مع الصناعة يُعد مفيدًا جدًا. فالمؤسسات الصناعية التي تُواجه تحديات عملية تلجأ إلى المساعدة من المختبرات النظرية الأكثر تميزًا، وتُشجّعها على الاستمرار. وهكذا، تنشأ علاقة تبادلية تلقائية: المختبرات الجيدة تحصل على دعم إضافي، وهذا أمر عادل.

الفصل الرابع: لدينا ندوة اليوم

...يتناول هذا الفصل كيف يُحافظ الباحث على متابعته لإنجازات العلم حول العالم، ويُظهر أن الرحلات العلمية للخارج لا تكتفي بإشباع الفضول، بل تلعب دورًا جوهريًا في إثراء العمل الأكاديمي.

اليوم لدينا ندوة. الساعة الآن الثانية وسبع وعشرون دقيقة بعد الظهر، وقد حان وقت الذهاب. التأخير غير مقبول، والسيدة ريما، أمينة الندوة، بدأت تهز حصالة النقود التي يُسهم فيها المتأخرون بعشر قروش عن كل دقيقة تأخير. بعد عام، ستكفي المبالغ لمأدبة جيدة. الانضباط غائب، والحصالة تزداد وزنًا باستمرار.

أما الأكاديمي كابيستا، فإنه يُجيد تنظيم ندواته بدقة تامة. "أربعاؤه" هي أبرز اللقاءات العلمية للفيزيائيين في موسكو. تبدأ ندواته في الوقت المحدد بالثانية، وتنتهي تمامًا بعد ساعتين، بفارق لا يتجاوز نصف دقيقة. وإذا تجاوز العرض الوقت المحدد، يقاطع المُقدّم بأدب ويؤجل ما تبقى إلى ندوة قادمة. أما إن انتهى الموضوع قبل الموعد، فيُكمل الوقت بأسئلة واسترجاع ذكريات، فيُنهي اللقاء تمامًا في وقته.

أما أنا، فما زلت أتعلم، وندواتنا تستمر تقريبًا ساعتين، لا أكثر، لأن التركيز يبدأ بالتشتت بعدها.

الندوة في المختبر أو المعهد هي الخيط الذي يربط الخلايا العلمية لتُصبح جسدًا بحثيًا موحّدًا. فالباحث يعمل غالبًا منفردًا أو مع مساعدَين، وأعمال التفكير دائمًا فردية. ولكن التواصل ضروري أيضًا، فحين يغرق الباحث في طريقه، قد يغفل عن أمور مهمة، أو يسير في طريق سبق وأن سلكه غيره. ومن المستحيل تحقيق تقدم حقيقي دون فهم موقع هذا الجهد ضمن الإطار العلمي العام.

بالطبع، يمكن قراءة الكثير، ويجب ذلك. لكن الباحث الملتزم يجد وقت القراءة أصعب من وقت النقاش، كما أن القراءة لا تعوّض تبادل الآراء الحيّ. فالكتابات العلمية لا تذكر الإخفاقات؛ تُنشر الورقة فقط عند تحقق النتائج. أما معرفة أن الطريق خطأ، فلا تأتي إلا من الحوار.

في ندوات المختبر، نستمع إلى تقارير من أعضاء الفريق ومن ضيوف من مختبرات أخرى. المُقدّم يتوقع النقد أو التشجيع أو النصيحة. وإذا قدّم الباحث عرضًا أو اثنين في ندوات مرموقة دون أن يتلقى ملاحظات ساخرة تُقلل من عمله أو تُشير إلى أخطاء فادحة أو معلومات منشورة من قبل، فإنه يشعر أن طريقه البحثي آمن. أما المستمعون، فإنهم يُسجلون

المعلومات الجديدة ويفكرون كيف يمكن استخدامها في مجالاتهم.

هذه هي أهم وأمتع عناصر الندوة، لكنها لا تكفي وحدها. فلا بد من متابعة الإنتاج العلمي العالمي.

آه، أتنهد وأنا أكتب ذلك. قد يقول البعض إنه يجب متابعة كل جديد في العلم، ولكن كان ذلك ممكنًا في القرن التاسع عشر. فقد كان الباحثون ينتظرون بشغف المجلات العلمية الشهرية، وتكفي يومان أو ثلاثة لقراءة كل جديد في الفيزياء أو الكيمياء أو حتى العلوم الطبيعية عمومًا.

لكن تلك الأيام الجميلة مضت. لقد صار توسع البحث العلمي أمرًا يفوق التخيل. وهناك من قدّر عدد العلماء الذين عاشوا منذ زمن رومولوس حتى اليوم، ووجد أن 90٪ منهم معاصرون لنا! فقبل قرن كان عددهم بالآلاف، واليوم هناك ملايين. ومن المرجّح أنه في الألفية الثالثة، سيعمل واحد من كل عشرة أشخاص في البحث العلمي.

نتائج هؤلاء تُنشر في المجلات العلمية. هل تعرف كم مجلة علمية تصدر اليوم؟ خمسون ألف مجلة! لو تم توزيعها بشكل متساوٍ، فستصلنا مجلة جديدة كل عشر دقائق. ففي عام 1960، احتوت هذه المجلات على مليون ومئتي ألف مقال

علمي. لذا، فإن تنهدّي له مبرره: مليون مقال بلغات من الإسبانية إلى اليابانية.

فكيف يمكن متابعة إنجازات العلم؟ من الواضح أن فكرة الإلمام بكل العلوم لم تعد ممكنة. حتى متابعة كل جديد في الفيزياء فقط أصبحت مهمة مستحيلة.

ففي مجال العلم، المجلات لا تُدار من جهة مركزية. بل هناك مئات المجلات في دول مختلفة تُعالج نفس المواضيع، بل وتتشابك في مواضيعها. فمثلًا، مقال حول "تحليل الطيف تحت الأحمر لبلورات الهيموغلوبين وعلاقته ببعض مشاكل تركيبها" يُمكن أن يُنشر في أي من مجلات مثل: فيزياء الحالة الصلبة، الفيزياء التجريبية والنظرية، علم البصريات، علم البلورات، الكيمياء البنيوية، الفيزياء الحيوية، الكيمياء الحيوية، وغيرها.

قد يسأل القارئ المتعجب: كيف تُتابعون كل هذا؟

الحل يكمن في وجود مجلات التلخيصات العلمية، والتي تزداد أهميتها يومًا بعد يوم.

في مجالي، تصلني شهريًا مجلة تحتوي على ملخصات لثلاثة آلاف بحث. أقضي أمسيتين أو ثلاث في تصفحها بدقة، أركّز على المقالات التي ترتبط مباشرة أو غير مباشرة بعمل المختبر، وكذلك على الملخصات التي تُناقش مشكلات عامة

في العلوم الطبيعية. ومن بينها، أختار من عشرة إلى عشرين موضوعًا لعرضها في الندوة.

والهدف مزدوج: أولًا، الاطلاع على هذه الأبحاث يحتاج وقتًا، ولكن لا بد من معرفتها، لذا نكلف الباحثين الجدد بعرضها في الندوات. ثانيًا، يحتاج الباحث الناشئ إلى التمرّن على التحدث في الاجتماعات العلمية، وتلخيص عمل الآخرين يُعد تدريبًا ممتازًا. فهو ليس مسؤولًا عن النتائج، ويكفيه أن يُحسن عرض الفكرة، وهو أمر بسيط.

ومع ذلك، لمجلات التلخيص عيب واضح: تصلنا الأخبار بتأخير كبير. تخيّل: على المحررين أن يحصلوا على النسخ الأصلية، يصوّرونها، يرسلونها لمتخصصين لمراجعتها، والذين بدورهم لديهم أعمال كثيرة، ثم يُعيدونها لتحريرها وطبعها. كل هذا يأخذ شهورًا، وقد تستغرق المعلومة الواحدة عامًا أو اثنين، بل ثلاثة، لتصل إلينا. وإذا كنت تعمل في مجال مزدحم بآلاف الباحثين، ولم تكن في الطليعة، فلن تفيدك التلخيصات كثيرًا. ومع ذلك، عليك كل شهر أن تراجع العشرات من المجلات، وبالعديد من اللغات.

إذا كنت تعمل منذ فترة طويلة في مجال علمي معين وتتمتع بشيء من التنظيم، فمن الممكن أن تظل على اطلاع بآخر الإنجازات فيه. لكن الأمور تصبح أكثر صعوبة عندما تحاول حل مشكلة علمية جديدة، حيث يلزمك دراسة مجلات

الملخصات التي تغطي عشرين عامًا على الأقل، وهو أمر مرهق وممل، إضافة إلى البحث في الفهارس الموضوعية لتلك المجلات. البحث عن معلومات حول موضوع محدد ليس صعبًا عادة، لأنه يكون مصنفًا تحت عنوان واضح، لكن المشقة تزداد عندما تبحث عن معلومات لم تُدرج بعد تحت فصل واضح من فصول العلم؛ فقد تضيع المسألة التي تهتم بها بين أقسام أخرى من الفهرس المصنف.

يكتفي الكثير من الباحثين الشباب بمطالعة المجلات الصادرة في السنوات الخمس أو العشر الأخيرة فقط. وهذا يؤدي إلى ظهور أبحاث تكرر اكتشافات قديمة، فتستهلك مساحة ثمينة من المجلات دون جدوى. ويمكن الاستشهاد بأمثلة عن معادلات رياضية أعيد اشتقاقها ثلاث أو أربع مرات. كما أن هناك باحثين يسلكون طرقًا غير مثمرة، رغم أن عدم جدواها قد تبيّن منذ عشرة أو عشرين عامًا، لكن الباحث الجديد لا يعرف بذلك ويهدر جهده ووقته.

إذا اعتمدت في متابعتك للإنتاج العلمي الحديث على أسلوب غير منهجي، فهناك خطر التكرار دون فائدة، مما يؤدي إلى دراسات زائدة عن الحاجة تُجرى ليس فقط في دول أخرى، بل حتى داخل بلدك ذاته.

ومع تزايد عدد المنشورات العلمية، فإن الصعوبات والمشكلات المذكورة تتضاعف بسرعة، مما يُضعف فاعلية

البحث العلمي، وقد حان الوقت للنظر في طرق فعالة لتجاوز هذه التحديات.

لا يمكن مواكبة العلم الحديث دون إتقان لغة أجنبية. فمنذ الحرب العالمية الثانية، أصبحت إحدى اللغات العالمية هي لغة العلوم الأولى. في اللقاءات العلمية الدولية، يتم تقديم أكثر من تسعة أعشار الأبحاث بهذه اللغة. ومع أن العديد من المجلات الغربية تقبل المقالات بلغات أوروبية مختلفة، إلا أن المؤلفين عادة يكتبون مقالاتهم بهذه اللغة لضمان وصولها لعدد أكبر من القراء.

ومن الأمور المشجعة أن الإنتاج العلمي بلغة بلادنا أصبح له حضور معتبر، إذ يتم ترجمة الكثير من أعمالنا، وبدأ عدد متزايد من الناس في الخارج بتعلّم لغتنا.

ومن الطبيعي أن أقرأ كثيرًا بنفسي، وأحرص على أن يبقى زملائي على اطلاع بما يحدث في العالم، ومع ذلك أحيانًا... أحيانًا يكون من الأفضل التوقف عن القراءة مؤقتًا، فمن المفيد أن يواصل الباحث التفكير في تجربته حتى النهاية دون أن يتأثر بأفكار الآخرين. وهذا مفيد خصوصًا إذا كان قد تقدم قليلًا في بحثه؛ حينها يجب أن يواصل طريقه دون أن ينظر للخلف.

لكن المراجعات الشاملة ضرورية أيضًا. فهناك كتب سنوية يعرض فيها باحثون مرموقون نظرة عامة على التطورات التي شهدها مجال علمي واسع خلال العام المنصرم، وأعتبرها قراءة أساسية لكل باحث. ومع ذلك، للأسف، لا يوجد مثل هؤلاء المراجعين في كل المجالات، رغم الحاجة الملحة إليهم، على الأقل إلى حين يصبح بالإمكان الاستفادة من الآلات الذكية في الحصول على المعلومات العلمية.

الآلات الإلكترونية السريعة لتخزين المعلومات هي حلم كل باحث. تخيّل أن تدخل غرفة تحتوي على آلة ذكية، وتضغط على زر، ثم تتحدث عبر جهاز صوتي فتقول: "من فضلك أخبرني عن كل الأبحاث التي تناولت الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبلورات مادة معينة خلال السنوات العشر الأخيرة". وبعد لحظة، يجيبك صوت آلي: "يرجى الملاحظة: قياس حرارة التبخر – المجلة الفلانية عام كذا الصفحة كذا؛ قياس التوصيل الحراري – المجلة الأخرى عام كذا الصفحة كذا...". حلم؟ نعم، لكنه قابل للتحقق. في المستقبل، ستقوم مثل هذه الآلات مقام مجلات الملخصات، وستُسهل كثيرًا مهمة الباحث في العثور على المعلومات السابقة والأخبار الشهرية والسنوية.

مثل هذه الآلات أصبحت ضرورة. فبدونها، قد تتوقف عجلة العلم خلال عقود قليلة، لأن معدل التقدم العلمي يزداد

باستمرار، وسنصل قريبًا إلى عشرات الملايين من الأوراق العلمية سنويًا بدلًا من الملايين التي تُنشر اليوم.

وغالبًا ما تعمل عشرات أو مئات المختبرات حول العالم على نفس المشكلات في وقت واحد. ولن يكون الأمر سيئًا لو كان هناك خطة موحدة للجميع، لكن لا توجد مثل هذه الخطة، ويظل التكرار أمرًا لا مفر منه.

لسوء الحظ، عالمنا مقسوم إلى معسكرين. الدول ذات الأنظمة الاقتصادية المختلفة تنفق أموالًا طائلة على الأبحاث المرتبطة بشكل مباشر أو غير مباشر بتطوير وسائل التسلّح. والدول الأخرى، مضطرة بدورها لتوجيه البحث التطبيقي نحو أهداف دفاعية. وهذه الأعمال تُصنّف على أنها سرية، ولا مجال لتبادل المعلومات بشأنها.

هذا الواقع يُؤثر بشكل غير مباشر على العلوم الطبيعية، لأن من الصعب التنبؤ بالأهمية العملية لأي بحث، مما يجعل التنسيق العلمي على مستوى عالمي أمرًا مستحيلًا.

كما تُعد الحدود الوطنية عائقًا كبيرًا في طريق تطور العلم، وهي مصدر لإهدار جهود عدد هائل من العلماء الذين يعملون دون تنسيق مع نظرائهم في الدول الأخرى. من الصعب تخيّل القفزة النوعية التي سيحدثها اتحاد العالم علميًا.

وفي الوقت الراهن، هناك الكثير الذي يجب فعله لترتيب البيت الداخلي. فعدد الأبحاث في بلادنا يزداد يومًا بعد يوم، وأصبح التنسيق على المستوى الوطني أمرًا لا غنى عنه. ويمكننا أن نتطلع بثقة إلى نجاح قريب وكامل في هذا المجال.

تلعب المؤتمرات دورًا كبيرًا في تحقيق التنسيق بين الباحثين. كيف تُنظم هذه المؤتمرات؟ عادة ترعاها الهيئات العلمية المركزية، التي تُخطط لاجتماعات العلماء، حيث تُشكّل لجنة تنظيمية تحدد مكان وموعد المؤتمر. يتم إرسال مئات الدعوات إلى المؤسسات المهتمة بالموضوعات المطروحة للنقاش، ويُطلب منهم تقديم ملخصات لأوراقهم العلمية. ووفقًا لعدد الأوراق، يستمر المؤتمر من يومين إلى عشرة أيام. تُعرض الأوراق العامة أمام جميع المشاركين، أما الأوراق المتخصصة فتُعرض في اجتماعات منفصلة حسب الأقسام العلمية.

تُشير تجربتي الشخصية إلى أن أنجح المؤتمرات عادة تُعقد في مدن بعيدة عن المركز، مثل مدينة كراسنويارسك. فرغم تكاليف السفر، إلا أن الفائدة تستحق. ففرصة زيارة ضفاف نهر ينيسي، التي قد لا تتكرر، تجذب العديد من العلماء الملتزمين بأعمالهم والذين عادة ما يترددون في مغادرة مختبراتهم. ولهذا، فإن اختيار موقع فريد ليس فكرة سيئة لإنجاح المؤتمر؛ فكلما زاد عدد العلماء البارزين المشاركين،

زادت القيمة العلمية والفكرية للحدث. ومن جهة أخرى، فإن هذه المؤتمرات تُشكّل دافعًا قويًا للباحثين المحليين، خصوصًا إذا كانت مواضيع المؤتمر تُدرس فعلاً في المدينة المستضيفة. فكل مؤتمر يُعقد "في الميدان" يُسهم بفعالية في تنشيط الحركة العلمية المحلية.

لذلك، ليس من الغريب أن يسافر العلماء عدة مرات سنويًا إلى مدن مثل كراسنويارسك أو تارتو أو أوديسا أو كيشينيف، حيث يلتقون بزملائهم ويتبادلون النقاشات معهم. وقد يتساءل القارئ: ماذا نعني بـ "النقاش مع الزملاء"؟ فالمؤتمر يُعقد أساسًا لعرض الأبحاث. هذا صحيح، لكن لو لم يكن هناك فرصة للقاء الزملاء، وللنقاش الهادئ مع أصحاب الفكر المتقارب، وللرغبة في مناقشة الخصوم العلميّين وكشف التفاوت في الآراء بأسلوب حيوي، لفَقَدت المؤتمرات جانبًا مهمًا من جاذبيتها، وتراجعت فائدتها إلى أدنى حد.

لقد كنت أشعر منذ زمن أن الأبحاث وحدها لا تُكوّن مؤتمرًا حقيقيًا، تمامًا كما أن الخضراوات وحدها لا تُشكّل طبقًا مطهوًا. لكنني لم أعبّر عن هذا الرأي إلا بعد أن حضرت أول مؤتمر دولي لي عام ١٩٥٦، في مدينة مونتريال، وهي واحدة من أفضل مدن البلاد التي استضافت الحدث. بعد ربع ساعة فقط من الهبوط، وجدت نفسي في سيارة يقودها زميل في المهنة، وكان الانتقال من أجواء الطائرة الهادئة إلى حركة

السير الصاخبة في العالم الجديد مفاجئًا بعض الشيء. لم أكن قد اعتدت بعد على قوة مكابح السيارات أو سرعة القيادة، وشعرت بالارتباك في أكثر من مرة أثناء الرحلة إلى الحرم الجامعي حيث يُعقد المؤتمر.

لكن رغم هذه المواقف، أوصلني زميلي إلى مقر الإقامة بسلام، ومن شدّة شغفي، دخلت قاعة المؤتمر خلال دقائق لألحق بقراءة إحدى الأوراق العلمية. بالطبع كنت متأخرًا عن الافتتاح، وهذا أمر اعتدنا عليه للأسف، حيث أصبح التأخير سِمة مألوفة عند حضور العلماء من بلادنا المؤتمرات الدولية. كانت القاعة تضم نحو مئتي شخص، بينما كان عدد المسجّلين يفترض أن يصل إلى ثمانمئة. تساءلت في نفسي: أين ذهب الباقون؟ كانت الأنوار مطفأة، والمُحاضر يعرض رسومات لتجاربه باستخدام جهاز عرض، لكنني وجدت نفسي غير قادر على التركيز. فقد اعتدت خلال الساعات الأخيرة على تتابع سريع للتجارب والانطباعات، ولم أتمكن من الجلوس بهدوء.

خرجت من القاعة، ونزلت إلى الساحة الخارجية للحرم الجامعي. وهناك، رأيت أولئك الذين كانوا "مفقودين" من القاعة: يجلسون مجموعات وأزواجًا تحت الأشجار، وعلى العشب، وعلى صناديق خشبية، وعلى درجات السلالم، في نقاشات حيوية مليئة بالحيوية. وقد أدركت بسرعة متعة وفائدة هذه الحوارات العفوية غير الرسمية.

اكتشفت أيضًا أن من الطبيعي أن ينتقل الشخص من مجموعة إلى أخرى، ويُنصت إلى أجزاء من الحديث، ويشارك فيه إذا بدا مثيرًا للاهتمام. ولتسهيل التعارف، كانت تُوضع شارات على صدور المشاركين تتضمن الاسم والجنسية. وقد استمتعت كثيرًا بمحاولة مطابقة شكل الشخص بالاسم المعروف، وكان الأمر ممتعًا ومليئًا بالمفاجآت. مثلًا، بدا زاخاريسن شابًا، على عكس ما كنت أتخيّله، بينما ظهر ويلسون أحمر الشعر وقوي البنية، أما ذلك الرجل طويل القامة صاحب الوجه الودود الطيب؟ إنه هاكر. يا لها من تجربة ممتعة، ولا يمكن لتجربة أولى كهذه أن تتكرر بنفس الاندهاش.

وفي الأيام التالية، وفي مؤتمرات كبيرة أخرى، لاحظت أن أغلب المشاركين يتّبعون نفس السلوك. بالطبع يحضرون نسبة محدودة من العروض التي تهمهم، لكنهم يقضون أغلب الوقت في الحديث مع زملائهم، يتبادلون الأفكار، يعرضون وجهات نظرهم، يتعرّفون إلى تفاصيل أعمال الآخرين في أماكن بعيدة. اللقاءات العلمية بكل أنواعها وعلى كل المستويات هي ضرورية ومفيدة، ولا أفهم أولئك الذين يتذمّرون من أن "المؤتمرات تستهلك كل وقتهم". وقتهم مِن ماذا؟ أليست مناقشة العلم مع شخص ذكي جزءًا أساسيًا من عملهم العلمي؟

الفصل الخامس: أبواب العلم

بعد قراءة هذا الفصل، يجب أن يكون الآباء قادرين على اتخاذ قرار نهائي بشأن ما إذا كان أبناؤهم البالغون ينبغي لهم أن يلتحقوا بالدراسات العليا ويستعدوا لمستقبل علمي، أم لا.

علم الوراثة الجزيئي يتقدم اليوم بسرعة مذهلة، حتى إنه بات من الممكن أن نتخيّل، كما في قصص الخيال العلمي، أننا سنصل إلى زمن يمكن فيه فحص خلية من نسيج شاب بواسطة مجهر بالغ الدقة، فنتمكن من معرفة ميوله وقدراته، ومن ثمّ تحديد نوع التعليم الأنسب له.

التعليم مهم للغاية. ولكن أثناء تشكيل شخصية الإنسان، قد يحدث أن يسلك المربّون طريقًا يعاكس طبيعته الفطرية (كما لو أننا نعلّم الحصان أن يسير على قدمَيه الخلفيتين: يستهلك المدرّب طاقة هائلة، لكن من غير المؤكد أن الحيوان سيستمتع بهذه المهارة الغريبة). أما إن تم تعزيز الميول الفطرية، فإن كلا الطرفين، المدرّس والمتعلّم، سيشعر بالرضا، وستعود النتائج بالنفع على المجتمع.

الميول الفطرية متنوعة جدًا. واليوم، لا يمكننا سوى مراقبة سلوك الشاب بدقة لاختيار مستقبله. وقد تكون الاختبارات النفسية مفيدة، رغم أنها لا تحظى باهتمام كافٍ في بلادنا.

بعض الأمهات تقول: "ابني سيصبح عالمًا، لا يمكن فصله عن الكتب." هذا استنتاج سطحي، فحبّ القراءة وحده لا يكفي. وأخرى تقول: "ابني اجتماعي، لا يحب الوحدة، دائمًا مع الأصدقاء." من هذا يمكن البدء في استخلاص شيء من ميوله.

أجرؤ على محاولة تحديد الصفات والميول التي أعتبرها أساسية كمادة أولية لإعداد عالم. ولست مختصًا في علم النفس، وربما تبدو ملاحظاتي غير احترافية، لكن أول صفة أراها مهمة هي أن يحب الطفل البقاء وحيدًا مع أفكاره. بالطبع، الطفل يظل طفلًا، ويجب أن يستمتع بالألعاب والرياضة والرقص، مثل أي مستقبل في الهندسة أو الطيران، لكن الطفل الذي نحن بصدده، يجب أن يجد متعة في الانفراد بكتاب أو حتى بسلك تالف أو مجرد فكرة... أن يكون وحده مع نفسه.

لكن هذا الميل وحده لا يكفي. فقد يكون مؤشرًا على فشل مستقبلي. كما يقول الرياضيون: هذه "شرط ضروري، ولكن غير كافٍ."

الصفة الثانية المهمة هي الفضول. كل الأطفال قبل سن المدرسة لديهم فضول طبيعي، وأسئلتهم المتكررة "لماذا؟" هي تعبير عن حاجتهم لفهم العالم. ولكن هذا الفضول يختفي لدى البعض عندما يعتادوا البيئة المحيطة. أما إن استمر

الفضول في النمو، فإن هذا مؤشر لا ينبغي تجاهله، وخصوصًا إن كان الفضول قويًا ومُلِحًا. فإذا لم يجد الإجابة عند والديه، يبحث عنها عند الجيران، وإذا لم يجدها، يلجأ إلى الكتب، وإن لم يجد الكتاب المناسب، يحاول أن يفهم بنفسه ويختبر ويثبت.

هاتان الصفتان تكفيان للمخاطرة بالتخطيط لمسار علمي. ولكن في أي مجال؟

لا أظن أن هناك اختبارات يمكنها أن تحدد إن كان الأفضل أن يصبح الإنسان متخصصًا في الكيمياء أو الأحياء أو الجيولوجيا أو التاريخ. فاختيار التخصص الدقيق يتم غالبًا بالصدفة. ومع ذلك، يمكن تصنيف عام بحسب الميول الطبيعية: الفضول موجود، لكن تجاه ماذا؟ إن كان نحو مصير الإنسان، والعلاقات بين الناس، والموقع الاجتماعي، والجانب الروحي، فهو غالبًا يميل إلى العلوم الإنسانية. أما إن كان اهتمامه بالكيفية التي تُصنع بها الأشياء، وكيف تخدم الناس، فسينضم إلى صفوف الباحثين التطبيقيين. أما إن كان الفضول نحو الطبيعة، فذلك يقوده نحو العلوم الأساسية.

وأحيانًا يُساور الأهل الشكّ: هل يجب لابنهم أن يتّجه إلى العلم؟ قدراته عادية، وتحصيله الدراسي متوسط، ولكن لديه الرغبة. في هذه الحالة، ينبغي تشجيعه بكل الوسائل. فالمواهب قد تظهر لاحقًا، وحتى إن بقيت قدراته ضمن

المتوسط، فإن إخلاصه للعمل سيقوده إلى مكانه في البحث العلمي، وسيشعر بسعادة في عملية الإبداع العلمي تفوق أضعاف إسهامه الفعلي.

الصفات المفيدة للباحث الجيد - مثل التفكير المنطقي الواضح، والذاكرة القوية - قد لا تظهر إن كان الطفل في مدرسة ضعيفة، أو إن كان والديه لا يفكران في مهنة علمية له. وهنا قد تُصبح المواهب الفريدة بلا قيمة، وهذا أمر مؤسف. ولهذا فإن جهود الباحثين في سيبيريا للبحث عن المواهب الشابة وضمّها إلى مجال البحث تستحق كل تقدير.

من جهة أخرى، إن نشأ الطفل في بيئة علمية، وكان أصدقاؤه من نفس الدائرة، فإن طريقه نحو العلم يكون غالبًا مرسومًا مسبقًا. ومع الأسف، يحدث أحيانًا هذا دون أن يكون له الأساس الفعلي.

عدد الشباب الملتحقين بالمؤسسات العليا كبير للغاية، وهناك تُحسم مصائرهم. فالتعليم بالكلمة والمثال له دور شديد الأهمية. المُدرّس الضعيف أو غير المهتم قد يُنفر الطالب من العلم. أما المدرّس الملهم، والبحث العلمي الجاد في الكلية أو الجامعة، فإنهما يُحييان مواهب الطالب العلمية ويزرعان حب العلم بداخله. ثم تأتي لحظة اتخاذ القرار، ويقول الشاب: "العلم

سيكون مهنتي." لكن هذا القرار وحده لا يكفي لضمان نجاح المسيرة العلمية.

قد يلتحق الطالب بالدراسات العليا، أو ينضم إلى هيئة بحثية، أو يُجبَر على العمل في مصنع أو مستشفى أو مدرسة. فلننظر إلى أقصر طريق إلى العلم: الدراسات العليا.

يأتيك اتصال من اللجنة: "هل ستستقبل طلاب دراسات عليا هذا العام؟" فتُجيب: "نعم." "كم عددهم؟" فتفكّر: اثنان؟ لا، ربما ثلاثة...

لا تتصور أنني أحبّ أن أزيد عدد الطلاب. فالتعامل مع طالب دراسات عليا قد يكون مهمة مرهقة وغير مجزية. عدا عن المسؤولية الكبيرة. قبول طالب للدراسات العليا يعني أنك التزمت بتحويله إلى باحث خلال ثلاث سنوات. وإن لم ينجح، فالمسؤولية عليك. إن كان الطالب ضعيفًا، كان عليك ألا تقبله أصلًا. وإن لم يكن فيه عيب واضح، فالخطأ عندك: ربما لم تُنظم عمله جيدًا، أو لم توفّر له ما يلزم، أو، وهذه أسوأ التهم، أنك لم تمنحه موضوعًا يصلح لأن يُبنى عليه بحث علمي. فمنح الطالب موضوعًا غير صالح لإنجاز أطروحته، كأن تضع طفلًا وسط متاهة، دون أن يكون لديه فرصة حقيقية للخروج منها.

يبدو أن وجود عدد قليل من طلاب الدراسات العليا في المختبر هو الأفضل، ولكن لا بد من أن نأخذ في الاعتبار طبيعة الباحث التي لا تشبع. فكما أن الأسرة السعيدة والمبتهجة لا يكفيها المال مهما ارتفعت أجورها، فإن المختبر العلمي الجيد لا يكفيه المكان ولا الأجهزة ولا، وهذا هو الأهم، عدد العاملين فيه. قد تخطر في بالك فكرة علمية تحتاج إلى اختبار، ولكن لا أحد متفرغ لأن الجميع مشغولون بأعمال لا تقل أهمية. طلب زيادة في عدد الفريق عادة يكون بلا جدوى، بل يسبب مشاكل أكثر مما لو تعاملت مع طالب دراسات عليا.

لذلك تُقرر أن تطلب عددًا من الطلاب يعادل عدد الطاولات المتاحة التي يمكن ضمها بعضها إلى بعض. ثم يبدأ الشباب في التواصل. أحدهم يقول: "كيف عرفت أنني أبحث عن فرصة دراسات عليا؟ لقد كنت أرغب منذ زمن بالعمل في مختبرك، وأتابع أبحاثك" – وهذا طبعًا ليس دقيقًا – "ثم علمت من نينا، إحدى طلابك، أن هناك شواغر." فتسأل: "متى تخرجت؟" يجيب: "هذا العام." ثم تسأله: "هل يمكن لقسمك أن يمنحك شهادة توصية؟" يقول: "أعتقد ذلك، لم أكن طالبًا سيئًا".

ثم تسأله: "لماذا لم تلتحق بالدراسات العليا في القسم الذي تخرجت منه؟" وهنا يظهر جوابان محتملان: الأول "كان

هناك مقعدين فقط، وقُبل الطلاب أصحاب المعدلات الأعلى." والثاني "لا أرغب في العمل في المجال الذي يطوّره القسم." ومن المؤكد أن الجواب الثاني أكثر تأثيرًا.

لابد أن أذكر أن المختبرات المرتبطة بأقسام الجامعات الكبرى تكون في أفضل موقع، إذ يمكنها اختيار أفضل الطلاب. بعض الشباب يأتون بعد عام أو عامين من العمل منذ التخرج، وأطلب منهم أن يخبروني بما قرأوا، وهل يدركون أنهم بحاجة إلى إتقان لغة أجنبية، وأن الدراسات العليا ليست نزهة بل عمل مستمر لأربعة عشر ساعة يوميًا.

أحذرهم: "انسَ فكرة الإجازات طوال السنوات الثلاث. قد أمنحك أسبوعين فقط إذا كان تقدمك جيدًا." هدفي هو إخافتهم بالصعوبات، حتى يتراجع من ليس له قلب قوي.

وفي نهاية الحديث أقول: "قدّم أوراقك واستعد للامتحانات." والحق يُقال، سيكون من الجيد لو أن عدد المتقدمين يفوق عدد الشواغر، ولكن كثيرًا ما لا يحدث ذلك. ومع ذلك، فأنت بحاجة إلى عاملين في المختبر، فتُجري الاختيار بعينٍ نصف مغمضة.

تعلمنا كتب الأطفال أن الطمع لا يأتي بخير. وأحيانًا تحصل على طالب ضعيف، لا يستطيع أن يفعل أكثر من العمل كمساعد فني تحت إشراف باحث. قد تتمكن من تعليمه

المهارات العملية، ولكن لا يمكنك أن تُخرّج منه باحثًا مستقلًا. يغادر المختبر بعد انتهاء دراسته وهو بنفس المستوى الذي دخل به. وإذا كان المشرف حساسًا، يشعر بالذنب لأنه حمّل الشاب مهمة تفوق قدراته – فيضطر إلى كتابة البحث العلمي عنه بنفسه.

لكن هذه الحالات قليلة.

إذا فشلت الدراسات العليا في زرع حب العلم في الطالب، فالمسيرة الأكاديمية قد انتهت. لا يمكن لأحد أن يترك أثرًا في العلم دون أن يحبه. ومَن لا ينسجم مع البيئة العلمية سيبقى كغراب أبيض وسط الآخرين، حتى يجد وظيفة يكون فيها مساويًا لمن حوله. ولا حاجة للحزن على هذا الفشل، فالكثيرون يدخلون الدراسات العليا، وفي النهاية من يحبون العلم يبقون فيه، والبقية يعودون إلى الصناعة أو التدريس. وهذا أمر جيد، فالثلاث سنوات التي يقضونها في الدراسة العليا تنعكس إيجابًا على أدائهم لاحقًا. وهكذا يستفيد العلم والصناعة والتعليم من هذه المنظومة.

ليس شرطًا أن يلتحق المرء بالدراسات العليا لإعداد أطروحة علمية؛ فقد قابلت أشخاصًا يستحقون أعلى التقدير بفضل ما أنجزوه. بعد التخرج من الجامعة، يعمل الشاب في مختبر مصنع أو معهد بحثي يُنفذ مهام حكومية عاجلة. عمله مهم

وشاق ويأخذ كل وقته، لكنه لا يصلح كأطروحة لأنه يفتقد الشرط الأساسي: اكتشاف حقيقة علمية جديدة.

وفي خضم المهام الروتينية، يصادف الباحث عقبات وتناقضات وربما يجد نفسه في طريق مسدود. فتتكوّن لديه أفكار جديدة حول طريقة تنفيذ العمل، ويبدأ في التجربة والتحقق. هذا العمل لا يدخل ضمن الخطة الرسمية، ويُنفَّذ في ساعات متأخرة من الليل. عليه أن يقرأ كثيرًا ويبحث في الكتب والمجلات عن معلومات ذات صلة. إن كان مثابرًا ومجتهدًا، سيصل إلى نتائج ذات قيمة علمية حقيقية يمكن أن تشكّل أساسًا لأطروحة. مثل هذا العمل له قيمة خاصة، بل يفوق عمل طالب دراسات عليا لا يُفارق مشرفه.

عرض الأطروحة ومناقشتها هو إمّا ثمرة التعليم الأكاديمي أو محطة ضرورية على طريق البحث العلمي. ومسار الشخص لاحقًا يعتمد على قدراته وطبيعته. هناك مكان للجميع: للمجتهد المخلص، والمغامر الذي يفتح طرقًا جديدة، والنشيط والمتأني، والطموح والمتواضع.

هناك كثيرون يعملون بجد، ولكنهم لا يشعرون بأنهم جزء من مجتمع العلم. الحديث هنا ليس عن هؤلاء، بل عن الذين يجعلون العلم هدفهم في الحياة.

الإخلاص للعلم يُكافأ بوفرة. فالحياة تُصبح غنية ومثيرة. في كل يوم هناك جديد، تعيش في حالة من الترقّب الدائم: هل ستنهي حساباتك؟ ما الرقم الذي ستخرجه التجربة؟ هل ستؤكد التجربة فرضياتك النظرية؟

العمل العلمي مشوّق بلا حدود. تصادف ظاهرة غامضة وغير مفهومة. تجربتك تُعطي نتيجة لا يمكنك تفسيرها. تبحث في كل الاحتمالات بلا جدوى. اللغز يلازمك في كل مكان: في المختبر، في المنزل، حتى في المواصلات. ذهنك يستعرض الظاهرة، يطوّقها، يبحث في كل جوانبها. تحاول إيجاد طريق إلى حلّها، بإصرار يفوق عزيمة متسلق جبل يبحث عن طريق لقمة لا تُطال. ثم تلمح ومضة من الحقيقة وسط الظلام، فتبدأ ترى خيطًا منطقيًا؛ ببطء يظهر النور، وينفتح الطريق أمامك. تمسك بالورقة والقلم وتبدأ بتحليل الفكرة بالمعادلات والمنطق. لا تستطيع ترك العمل قبل الوصول للنهاية. وإذا لم تحل المشكلة بالمنطق، فهذا يعني أن الفرضية خاطئة. تبدأ من جديد. تمر الأيام والأسابيع والأشهر – وأخيرًا، يتحقق الانتصار. كل القطع تتكامل في صورة منتظمة. لقد فُكّ اللغز، وتم شرح الظاهرة.

تشعر بنشوة بالغة وفرح عميق. تسيطر عليك رغبة لا تُقاوم في أن تنشر إنجازك للعالم، أن تُشارك نجاحك وأن ترى أهميته وفائدته وقد أصبحت معروفة. فالعالِم يستمد سعادته

الكبرى من مجرد الحديث عن عمله، ولهذا تجده يوافق بسهولة على أي دعوة لتقديم عرض. يسافر إلى أي مكان، غير مبالٍ بالتعب أو الانشغال.

فمن الطبيعي أن يتحدث الإنسان عن نفسه وعمله، حتى وإن كان عدد المهتمين قليلًا. ولكن الباحث لا يحب عمله فقط، بل يحب مهنته بأكملها. يجد متعة كبيرة في شرح أي مشكلة تتعلق بتخصصه، وليس فقط تلك التي يعمل عليها بنفسه. فلا تتردد أبدًا في مقاطعته بسؤال ذي معنى؛ سيكون جوابه شاملًا ومفصلًا، وبعد انتهاء الحديث ستشعر أنه هو نفسه قد استمتع بالحوار، لأنه وجد فرصة ليُفيد من حوله بعلمه وتجربته.

هذا النوع من المساعدة العفوية هو شيء طبيعي عند العالِم، فهو جزء من حياته، من عمله الذي يُحبّه بصدق. لذلك، ليس من الإنصاف أن نخاف من أن يُضايقه الحديث أو يُضيّع وقته. ولكن الأمر مختلف عندما تحاول الزوجة أن تُخرج زوجها الأكاديمي إلى المسرح أو إلى حفلة عيد ميلاد خالتها المحبوبة. إذ يصعب عليه أن يُفسّر أن عمله أكثر إثارة ومتعة من شرب الكحول أو مناقشة أخبار المسرح في العاصمة. ومع ذلك، وبسبب شعوره بالذنب لأنه طوال الأسبوع الماضي لم يصل إلى المنزل قبل العاشرة مساءً، يُقرّر أن يُرضيها ويتنهد ويرافقها في الزيارة.

ومع هذا، فإن المتاعب لا تنتهي.

تشدّه الزوجة من كمّ ثوبه وتهمس: "عزيزتي، السيدة آنا تسألك للمرة الثانية عمّا إذا أعجبك عرض مسرحية هاملت في المسرح الفلاني." فيردّ بصوت متردد: "هاملت؟ آه نعم... نعم بالطبع، كان رائعًا".

ثم ينتبه فجأة إلى هذا العالم الغريب الذي يهتمّ فيه الناس بالتفاصيل البسيطة، بينما هو مُنشغل بالتفكير في سلوك مادة ثنائية الكلور في تحولها من حالة إلى أخرى.

ليس كل الناس يجدون في وجود الأكاديمي سعادة. فهو، في الحقيقة، بالكاد يكون حاضرًا؛ جسده في اللقاء، لكن عقله في المختبر. وهذا لا يعني أن العلماء دائمًا ضيوف مملّون. على العكس: حتى للعلم لحظاته الطبيعية من التوقّف، وخلالها يستطيع العالِم أن يمازح، يرقص، ويشرب.

حياة المُخلص للعلم لا تخلو من آلام الطموح وفرحته. قد يحدث أن يعمل شخص آخر على نفس موضوعك، ويصل إلى نتائج أدق وينشرها قبلك. عندها يُصبح عملك عديم الفائدة. من الصعب وصف ما يشعر به العالِم من ألم في مثل هذا الموقف – تمامًا كما يصعب وصف سعادته إن كان هو من سبق الآخرين.

لقد نشرت عملك الذي سخّرت له فِكرك وطاقتك، ولكن زملاءك لا يذكرونه، وكأن أحدًا لم يقرأه. هذا شعور مزعج جدًا ويؤرق النفس. لكن، بعد سنتين أو ثلاث، تبدأ الإشارات إليه تظهر أكثر فأكثر. الآن تعلم أن الناس يقرؤون عملك ويستفيدون منه، ما يعني أنه ساهم في دفع الجبهة العلمية إلى الأمام. عندها تُغمر بفرحة عظيمة، وإحساس عميق بالرضا، وشعور بأنك كنت مفيدًا بالفعل. وإذا كان لكلمة "سعادة" معنى، فهذه اللحظة تُجسّد ذلك المعنى بكل دقة.

الفصل السادس: بعض من التاريخ

يتناول هذا الفصل كيف أن دراسة الطبيعة التي كانت تعتمد على التلاعب اللفظي قد أفسحت المجال للتجربة العملية، كما يكشف كيف أن إنجازات العلم في القرن التاسع عشر جعلت بعض العلماء يظنون أن ما تبقّى لنا هو مجرد جني ثمار جهودهم السابقة.

في تطور الجنين البشري، يكرّر المراحل التي مرّ بها تطور الكائنات الحية عبر ملايين السنين، من كائن ضئيل إلى ما يُعرف بملك الطبيعة. ومن الطبيعي إذًا أن نحاول أن نقارن بين تطور الأفكار من زمن الإغريق إلى يومنا هذا، وبين كيفية تكوّن فهم الطفل الحديث للعالم من حوله.

لكننا نضطر إلى التخلي عن هذه المقارنة سريعًا. فقد ضمّ حكماء اليونان القديم أناسًا مثل أرسطو وديموقريطس. وكان تفكير ديموقريطس واضحًا وبسيطًا، قريبًا في روحه من الفكر العلمي الحديث، على عكس أرسطو، الذي اعتمد في تفسيراته على معاني الكلمات الداخلية، وهي طريقة تُشبه طريقة الطفل الصغير في فهم الأشياء. ولهذا، فإن "فيزياء" أرسطو اليوم تُعتبر قراءة غريبة لا أكثر، بينما أفكار ديموقريطس عن

تركيب الكون يُمكن بعد تنقيحها أن تُستخدم كنصّ مبسّط يُعرض فيه جوهر العلم الحديث.

اعتنقت المسيحية خليط أرسطو من السذاجة والغموض، بينما قادت تعاليم ديموقريطس الذرية بوضوح نحو إنكار وجود الخالق. ولهذا، وفي نهاية القرن الثالث عشر، تم اعتبار أرسطو بأنه "مقدّم المسيح" في تفسير الطبيعة، وحتى القرن السابع عشر كان أي نقد لأفكار أرسطو يُعدّ خروجًا عن ثوابت الكنيسة. وقد صدر قرار من البرلمان في باريس بتاريخ ٢٤ أغسطس عام ١٦٢٤ يُجرّم أي شخص "يؤمن أو يشرح أي حقيقة تُناقض تعاليم أرسطو"، وقد كان هذا القرار تحت طائلة الإعدام.

إن الأفكار الجريئة التي طرحها ديموقريطس حول الذرة كادت أن تندثر لولا أن الشاعر الروماني تيتوس لوكريتيوس كارس استخدمها في قصيدته "عن طبيعة الأشياء". أنصحك بقراءتها إن لم تفعل، فرغم بساطتها، إلا أن إعجابه الشديد بنظرية الذرّة الواضحة والمتناسقة يُثير اهتمام القارئ ويُبقي على هذه الأفكار حيّة.

لكي نفهم طريقة تفكير علماء العصور القديمة والوسطى، يجب علينا أن نقرأ أعمال أرسطو. وعند التوغّل في متاهته اللفظية، نجد أنه يفسّر الظواهر الطبيعية بأسلوب مختلف تمامًا عن الذريين القدماء أو العلماء المعاصرين. فقد افترض

الذريون، تمامًا كعلماء الفيزياء اليوم، أن الطبيعة تُفسّر من خلال المقاييس الكمية: الامتداد المكاني، الشكل الهندسي، حركة الأجسام والجزيئات. أما أرسطو، فكان يفسّر كل خاصية بإسناد صفة غامضة لها. لماذا الشيء حلو؟ لأنه يحتوي على الحلاوة. لماذا الشيء دافئ؟ لأنه يحتوي على الحرارة. كل شيء يُفسّر بسهولة مُفرطة.

لماذا تسقط الأجسام نحو الأرض؟ الأمر بسيط: لأنها تُجذب بفعل ثقلها الداخلي. وكلما كان الجسم أثقل، سقط بشكل أسرع. أما فكرة أن الأرض تؤثر في الجسم الساقط، فهي غير مقبولة عند أرسطو، فحركة الجسم تحددها "طبيعته"، وصفاته الجوهرية.

هذه القدرة على إعطاء "تفسير بسيط" لكل شيء في الكون أمرٌ مذهل؛ فقد بلغ التلاعب اللفظي ذروته. الذريون اعتبروا أن حركة الجزيئات دائمة، وهو أمر أساسي في الفيزياء الحديثة. أما أرسطو، فقد افترض أن كل حركة تحتاج إلى دافع محرّك. هذا الدافع قد يكون داخل الجسم أو ملامسًا له. أما التأثير عن بعد فهو غير مقبول.

فمثلًا، كيف يُمكن تفسير حركة حجرٍ مُلقى في الهواء؟ لا يوجد محرّك داخل الحجر، ولا يوجد جسم يدفعه. وهنا تدخل أرسطو بحلّ: اليد لا تنقل الحركة للحجر فقط، بل للوسط المحيط أيضًا. ماذا يعني ذلك؟ إن اليد تُضفي على الجزء

المتحرّك من الوسط المحيط خاصية تُسمى "القوة المحرّكة"، أي القدرة على نقل الحركة لأجسام أخرى. بهذه الطريقة، تنتقل هذه القوة من وسط إلى وسط، ومع كل انتقال تقلّ الكمية تدريجيًا، إلى أن يسقط الحجر أرضًا.

لكن ما هذا الوسط؟ إنه الهواء طبعًا. وإن لم يوجد هواء؟ فالمحيط موجود على أي حال، لأن أرسطو رفض تمامًا فكرة الفراغ، كما رفض فكرة الذرّة التي طرحها ديموقريطس.

وكانت حججه ضد الفراغ قوية، ويمكن الحكم على منطقه من خلال ما يلي: الفراغ هو مكان لا يوجد فيه جسم. ولكن هذا التعبير غير منطقي تمامًا، كأن تقول "مشروب لا يُشرب"، أو "إحساس لا يُحس."

لا حاجة للمزيد من الأمثلة؛ هذا كافٍ لفهم طبيعة تفكير أرسطو في تفسير الظواهر.

وقد قرأت بعض الكتابات الحديثة التي تتبع نفس أسلوب أرسطو. حين يتناول شخص غير متخصص موضوعًا علميًا، يخرج بنص يشبه هذا تمامًا. لقد استخدم التلاعب اللفظي منذ العصور القديمة وحتى الآن كأداة للدين، وهو بعيد كل البُعد عن المعرفة العلمية. وليس من قبيل المصادفة أن أكثر الطوائف الدينية تشددًا، مثل الرهبان الفرنسيسكان والدومينيكان، كانوا يتبنّون علوم أرسطو. وبعض رجال الدين

دمجوا ببراعة عباراته الغامضة مع المعتقدات الدينية، وكان أبرزهم توما الأكويني.

طوال مئتي عام، عملت المؤسسة الدينية على بناء منظومة تخدم مصالحها إلى حدّ كبير، لكنها لاحقًا كانت سببًا في ضعفها. إذ ترتبط الفلسفة المسيحية المعاصرة ارتباطًا وثيقًا بالفكر الذي أسسه توما الأكويني، والذي امتزج بأفكار أرسطو حول الطبيعة. لكن مع ظهور العلم الطبيعي التجريبي، أصبح من المستحيل الاستمرار في الدفاع عن علم أرسطو، واضطرت المؤسسة الدينية إلى التخلي عنه، مما سبب لها خسائر فكرية ملموسة.

بدأت المرحلة الجديدة من تطوّر العلم في القرن السادس عشر، معلنة انطلاقتها باكتشافات كوبرنيكوس، وأعمال بيير غاسندي الذي أعاد إحياء النظرية الذرية التي أسسها ديموقريطس. بدأت الملاحظة والتجربة تحلّان محلّ الجدل اللفظي في الحديث عن الطبيعة. وأصبح واضحًا أن الكلمات تعبّر عن الظواهر، لكنها لا تفسّر شيئًا بذاتها.

هذا التحوّل في طبيعة التفكير يبدو جليًا لمن يراجع أعمال العالم الإيطالي الكبير غاليليو، مؤسس الفيزياء التجريبية. ومن غير المعروف إن كان قد أجرى بنفسه تجارب للتحقق

من آرائه، لكن الأهم أنه وصف التجارب التي يمكن إجراؤها لهذا الغرض.

طريقة غاليليو في تناول القضايا تشبه ما تقوم عليه العلوم الطبيعية اليوم: قبل تفسير الظاهرة، يجب وصفها أولًا. لقد اختار عن قصد تأجيل السؤال "لماذا تحدث الحركة بهذه الطريقة؟"، وركز على السؤال "كيف تحدث؟". لم يكن الهدف التفسير بل الوصف. هذا القيد الذي فرضه على نفسه كان مؤقتًا، فقد كان يعلم أن السؤال عن أسباب الحركة يمكن طرحه فقط بعد وصف كل الحقائق.

أما بالنسبة للتلاعب بالألفاظ، فلم يكن لديه شك في عدم جدواها كوسيلة تفسير. وفي إحدى محاوراته الشهيرة بين "سلفياتوس" (الذي يُمثل صوت غاليليو) و"سيمبليتشيوس" (الذي يُمثل المدرسة الأرسطية)، سأل سلفياتوس ليُفحم خصمه: "لماذا تتجذب الأجسام نحو الأرض؟" فأجاب سيمبليتشيوس: "الجميع يعلم أن السبب هو الثقل الداخلي للأجسام." فقال له سلفياتوس: "أنت مخطئ، يا سيدي، كان يجب أن تقول: الجميع يعلم أن هذا السبب يُسمى الجاذبية".

ثم يشرح سلفياتوس أن إطلاق اسم على ظاهرة لا يُقدم شيئًا نحو فهمها، ويُنهي الحديث بنصيحة: لا تلعب بالكلمات.

وهكذا تهاوى البناء اللفظي الذي شيده أرسطو.

وبدأ بناء جديد للعلم في الظهور، انطلق من علم الحركة. ففي سنة ١٦٨٧، نُشر عمل العالم الإنجليزي الكبير إسحاق نيوتن بعنوان "الأُسس الرياضية للفلسفة الطبيعية"، حيث وضع القوانين الأساسية لحركة الأجسام.

لحركة جميع الأجسام؟ المستقبل أظهر أن هناك بعض التحفّظات. لكن على مدى مئتي سنة، كانت الأدلة كثيرة على دقة قوانين نيوتن، حتى لم يخطر لأحد أن يشكك في صِحتها، بل بدأ الاعتقاد يتنامى بأنها تحمل طبيعة شبه مقدسة.

وقد أعقبت اكتشافات علم الحركة بحوث رياضية مبهرة، استُخدمت مباشرة في حلّ مشكلات الحركة. وطرحت هذه المشكلات بدورها تحديات جديدة أمام الرياضيات. ولم يمضِ وقت طويل حتى أصبح العلماء قادرين على الإجابة عن سؤال: كيف سيتحرّك الجسم؟ وكل ما يحتاجونه هو معرفة الظروف الأولية: موقع الجسم وسرعته في لحظة معينة. فمستقبله أصبح في أيدي العلماء: قوانين نيوتن، على شكل معادلات تفاضلية، تُحدد كامل حركته. تحدد ما إذا كان الجسم سيتحرّك على مسار بيضاوي أو منحنٍ أو منحنى آخر. وإذا أردت معرفة سرعة الحركة، يكفي أن تُحدد الزمن والمكان – والمعادلة تُعطيك الجواب، مثلما تُجيب عن أي سؤال متعلق بحركة الجسيم الذي نهتم به.

لكن... هناك "لكن" صغيرة. من أجل التنبؤ بما سيحدث للجسم، نحتاج إلى معرفة مجال القوة الذي يتحرك فيه. وهنا يبرز دور نيوتن الكبير، فقد وضع ليس فقط قوانين الحركة، بل أيضًا صيغة المجال الجاذبي المشهورة، وهي صيغة جميلة وبسيطة تُتيح حساب قوى التفاعل بين جسمَين إذا عرفت كتلتيهما والمسافة بينهما.

ومن الطبيعي إذًا أن يُصبح من أولى تطبيقات هذا الكمّ الهائل من الأفكار الميكانيكية والرياضية دراسة حركة الأجرام السماوية. وقد تحققت نجاحات باهرة في تفسير سلوك الكواكب، حتى بدا من الصعب أن يُشكك أحد في صلاحية قوانين نيوتن. وكان الإنجاز الأبرز بالطبع هو الحسابات التي أجراها أوربان لوفيرييه. وقد رُويت قصته في كتب العلوم المبسّطة، لكن المثال رائع لدرجة أن الكاتب لم يقاوم أن يعيده من جديد، آملاً أن يتعرّف بعض القرّاء على لوفيرييه من خلال هذه الرواية.

فبحلول عام ١٨٤٥، كانت حركة جميع الكواكب قد حُسبت بدقة، وتطابقت الحسابات مع الرصد الفلكي. وكل الكواكب ظهرت في مواقعها بالسماء كما توقعها العلماء. كلّها؟ لا، ليس كلها. كوكب أورانوس تصرّف بطريقة غريبة، ولم يلتزم بقوانين نيوتن.

لكن هذا غير ممكن! فالثقة في صلاحية هذه القوانين كانت كبيرة جدًا، وقد ثبتت مرارًا وتكرارًا، حتى أن التشكيك بها يُعدّ تشكيكًا في العلم بأكمله. ومع ذلك، كان لا بد من تفسير سلوك أورانوس.

ربما فكّر لوفيرييه قائلاً: هناك كوكب مجهول يقع خلف أورانوس؟ فجاذبيته لم تؤخذ في الحسبان في الحسابات، وهي على الأرجح صغيرة بحيث لا تُؤثر في الكواكب الأبعد، ولكن إن افترضنا أنه قريب من أورانوس، فقد يُفسّر ذلك سبب خروجه عن المسار المتوقع.

إذا صحّ هذا، فيمكن صياغة مشكلة عكسية، بحيث يتم حساب مقدار انحراف أورانوس عن المسار المحدد بواسطة المعادلات الرياضية. ففي نقاط معينة ينحرف جهة اليسار، وفي نقاط أخرى جهة اليمين، وفي أماكن أخرى يكاد لا ينحرف. ومن خلال هذه الانحرافات يمكن حساب كيف يتحرّك الكوكب المجهول. فعندما يكون قريبًا من أورانوس، يكون تأثيره أقوى، وعندما يبتعد يقل تأثيره.

أجرى لوفيرييه الحسابات اللازمة، وحدّد مسار الكوكب المجهول، وقال متى وأين في السماء يجب أن يُبحث عنه. وفي شهر سبتمبر من عام ١٨٤٦، تم اكتشاف الكوكب الجديد في المكان الذي حدّده، ودخل نبتون ضمن عائلة الكواكب.

أشعر بقشعريرة من الحماس وأنا أصف هذا المثال الرائع على التنبؤ العلمي المذهل. أستطيع تخيّل حالة الارتباك والانبهار التي أصابت علماء عصره عندما نُشرت أخبار رصد الكوكب. أما لوفيرييه نفسه، فخيالي يعجز عن تصور مشاعره حينها.

ليس من الصعب أن نفهم مدى الثقة اللامحدودة التي ترسّخت في قوانين نيوتن بعد هذا الإنجاز.

لكن علم الحركة هو مجرد جزء صغير من العلم. أليس من المبكر أن نفخر بكل إنجازات العلوم الطبيعية؟ فهناك الكثير من الظواهر في مجالات أخرى: الضوء، الكهرباء، المغناطيسية، وغيرها. ومع ذلك، وُضعت قوانين الحركة فوق كل اعتبار! وهذا ما كان يعتقده معظم العلماء. إذ اختلفت الظواهر فقط في شكل مجال القوة المؤثرة فيها.

وقدّم نيوتن تصنيفًا جيدًا للقوى، شمل إلى جانب الجاذبية، قوى مغناطيسية، كهربائية، ضوئية، كيميائية، وترابطية. وكانت المهمة تتمثّل في إيجاد القوانين التي تحكم هذه المجالات المختلفة للقوة. فإذا عُرفت تلك القوانين، فإن قوانين نيوتن يمكن استخدامها مجددًا لتحديد مصير الجسم، كما تُستخدم لتوقع سلوك الكوكب تحت تأثير الجاذبية.

لكن ماذا عن طبيعة هذه القوى نفسها؟

الغريب أن هذا السؤال لم يُقلق الكثيرين. وقد يكون ذلك مرتبطًا بالعلاقة بين العلم والدين في ذلك الزمن. فعدم الإجابة على السؤال ترك المجال مفتوحًا لإدخال "الخالق" ضمن الصورة. بل إن بعض العلماء حاولوا إثبات وجود الخالق من خلال جمالية المعادلات الأساسية في علم الحركة، بينما قال آخرون إن فرضية وجوده لا تضيف شيئًا للعلم ولا تُساعد على فهم طبيعة القوى.

وكان بعض الباحثين الآخرين مشغولين بمحاولة تنظيم عالم القوى، لتقليصها إلى سبب واحد مشترك.

أما التأمّل في طبيعة القوى، فهو تفكير في بنية المادة. وقد نالت أفكار ديموقريطس، الذي وصف العالم بأنه مكوّن من الجزيئات والفراغ، تأييدًا واسعًا. وقد أتاحت قوانين نيوتن استبدال فكرة الخطاطيف التي تربط الذرات بقوة الجاذبية التي تؤثر عن بُعد. وظهرت الذرّة آنذاك بوصفها جسمًا كرويًا صغيرًا. وكان يُعتقد أن تفاعل هذه الكُريات غير المرئية يُفسّر خواص المواد.

ثم، في بداية القرن السابع عشر، قدّم الفيلسوف ديكارت نظرية جديدة للعالم، تقوم على فكرة "الوسط المنتشر غير المرئي". إذ لا يوجد فراغ في الكون، وكل شيء مغمور في

هذا الوسط، بل ظهرت فكرة وجود وسائط متعددة، مثل وسط كهربائي للكهرباء، وسط ضوئي للضوء، وهكذا.

وقد فسّرت فرضية الوسط كيف تؤثر الأجسام في بعضها عن بعد. فالجاذبية والكهرباء، على سبيل المثال، تعملان بشكل رائع في الفراغ، لكن من الصعب تصديق ذلك، خاصة بعد أن تبيّن في القرن التاسع عشر أن القوى الكهرومغناطيسية لا تنتقل مباشرة، بل تصل بتأخير زمني. وهذا يعني أنها تنتقل عبر شيء ما، عبر وسط مادي.

وقد بنى العالم فاراداي نظرية المجال الكهرومغناطيسي على إيمان راسخ بوجود هذا الوسط. رغم أن الوسط لم يدخل مباشرة في المعادلات التي تصف سلوك المجال الكهربائي أو المغناطيسي أو الضوئي، إلا أن العلماء لم يشكّوا لحظة في وجوده.

لكن ما هو هذا الوسط؟ ربما كان سائلًا غريبًا في حركة دائمة؛ أو ربما كان ساكنًا وتتحرّك فيه كرات أكثر كثافة بشكل نابض. ولتفسير الظواهر الضوئية، كان لا بد من افتراض أن هذا الوسط يمتلك خواص المواد الصلبة، لأنه ينقل موجات عرضية.

وعلى الرغم من أن نموذجًا شاملًا لهذا الوسط لم يظهر لتفسير كل الظواهر الفيزيائية، ورغم أن طريقة تفاعله مع الذرات والجزيئات لم تكن واضحة، فقد ظل الإيمان بوجوده قويًا.

وجاءت نهاية القرن التاسع عشر بأعمال رائعة على يد كلاوزيوس وبولتزمان وجيبس، الذين أثبتوا أن تطبيق قوانين الحركة ونظرية الاحتمالات على سلوك المجموعات الكبيرة من الجزيئات – خاصة في الغازات – يُفسر بدقة الخواص الفيزيائية للأجسام. وقد عزّزت هذه الأعمال الاعتقاد بأن العالم يرتكز على ثلاث دعائم أساسية: قوانين نيوتن الثلاث، التي تحكم حركة الجزيئات غير المرئية كما تحكم حركة الأجرام السماوية.

لكن عدم توفر أي أمل في دراسة العالم على المستوى تحت المجهري أدى إلى إهمال مشكلات البنية الداخلية للمادة. فاعتُبرت هذه القضايا من اختصاص الفلسفة أو ما وراء الطبيعة، أي خارج نطاق العلم، كما زعم بعض الفلاسفة المحدودي الرؤية مثل ماتش وأوستفالد، الذين أصرّوا على أن الفيزياء لا يجب أن تهتم بهذه الأسئلة.

وربما كانوا لا يعتبرون عدم المعرفة بالوسط أو الجزيئات أو طبيعة القوى عيبًا في الفيزياء. فالصورة الكونية كانت واضحة: أجسام وجزيئات تتحرك وفق قوانين نيوتن. ومعادلات القوى موجودة، وتربط بين خواص الأجسام

والمسافات بينها. وكل ما تبقى هو إدخال هذه القيم في المعادلات التفاضلية، وتحلّ جميع مشاكل الفيزياء. وهكذا، كان يُنظر إلى الفيزياء على أنها علم مُكتمل.

وأثناء تحضيري لهذا الفصل، تصفحت الموسوعة الروسية القديمة "بروكهوس وأفرون"، ووجدت المجلّد الذي يتحدث عن "الحرارة"، وقد طُبع عام ١٨٩١. يشرح الكاتب فيه قوانين الحرارة وطرق قياسها، لكنه يذكر فقط بضعة كلمات عن طبيعتها: "نحن متأكدون أن الحرارة ترتبط بحركات معينة لجزيئات المادة." ومن سياق الكلام، يبدو أن الكاتب يرى أن طبيعة هذه الحركة ليست مهمة في الفيزياء.

وهذا كان موقف الكثير من الفيزيائيين النظريين في أواخر القرن التاسع عشر، والذين أعلنوا أن الفيزياء كعلم قد اكتمل. وقد دفع هذا الموقف أستاذ ماكس بلانك إلى نصيحته بعدم دخول مجال الفيزياء قائلًا: "لقد تم إنجاز كل شيء في الفيزياء، من الأفضل أن تدرس شيئًا آخر." لكن بلانك رفض النصيحة، وبعد سنوات أجرى بحثه الشهير في "كمّات الإشعاع"، والذي أسّس لفيزياء العصر الحديث.

أما العالم لورد كلفن، فقد قال في إحدى محاضراته أن الفيزياء النظرية تمثّل بناءً أنيقًا ومتكاملًا. وأضاف أن هناك

فقط سحابتين صغيرتين في سماء الفيزياء، وقد اعتقد أنها ستزول قريبًا، ولن يبقى شيء يفعله علماء القرن العشرين.

أتدري ما هما السحابتان؟ في الحقيقة، لم يكن تقييم كلفن سيئًا. فقد أشار إلى أبرز عقبتين واجهتا علماء الفيزياء آنذاك: الأولى هي ثبات سرعة الضوء، والتي أثبتها ميكلسون تجريبيًا – ومن هذه المسألة نشأت نظرية النسبية. والثانية كانت شكل منحنى يصف علاقة الطاقة الإشعاعية بطول الموجة. إذ توقعت النظرية أن يزداد المنحنى بلا حدود كلما قصر طول الموجة، مما يؤدي إلى "كارثة فوق بنفسجية". لكن القياسات الفعلية أظهرت أن المنحنى له شكل محدّب، يرتفع ثم ينخفض. ومن هذه المسألة نشأت الفيزياء الكمّية، ويُعزى فضلها إلى بلانك.

وهكذا، فإن تقدير كلفن للحالة لم يكن خاطئًا تمامًا؛ فقد أشار بالفعل إلى العقبتين الأساسيتين اللتين كانت تخيم على سماء الفيزياء في نهاية القرن التاسع عشر. لكن المفاجأة كانت أن هاتين السحابتين الصغيرتين تحولتا في وقت قصير إلى عواصف فكرية هائلة، غيّرت وجه العلم كله.

فمن السحابة الأولى، المتمثلة في ثبات سرعة الضوء، نشأت نظرية النسبية التي أسسها آينشتاين، وقلبت مفاهيم الزمان والمكان والطاقة رأسًا على عقب. ومن السحابة الثانية، التي ظهرت في مشكلة توزيع الطاقة الإشعاعية على الأطوال

الموجية، انبثقت الفيزياء الكمية، التي وضع أساسها ماكس بلانك، وسرعان ما توسعت لتصبح أساسًا لفهم الذرات والجزيئات، بل لفهم الطبيعة ذاتها على أعمق المستويات.

لقد أذهلت هذه الاكتشافات كبار العلماء في ذلك العصر، بل إن بعضهم، مثل لورينتز، عبّر عن شعور بالأسى لأنه عاش ليرى تلك التحولات التي قلبت نظرياتهم المتماسكة رأسًا على عقب. ومثل هذه الأحداث تُعدّ درسًا كبيرًا في تاريخ العلم، يذكّرنا بخطر الثقة الزائدة، حين يدّعي جيلٌ ما أنه وصل إلى المعرفة الكاملة والنهائية.

والآن، فلنرَ ماذا حدث في القرن العشرين...

الفصل السابع: أول هجوم على "الفطرة السليمة"

في هذا الفصل، سيكتشف القارئ أن كلمة "بديهي" يجب أن تُحذف من قاموس الفيزياء. كما يضع الكاتب لنفسه مهمة شرح معنى كلمة "تفسير."

لقد انهار البناء المشرق للعلم الفيزيائي الذي شيّده القرن التاسع عشر بسرعة. وذلك في سنة 1905، حين أعلن الشاب البالغ من العمر خمسة وعشرين عامًا، ألبرت أينشتاين، عن أحد أعظم إنجازات العقل البشري: "نظرية النسبية."

وباستخدام منطق رياضي صارم، وعلى عدة صفحات فقط، عرض أينشتاين نتائج ناتجة عن فرضيتين. نتائج مدهشة حطّمت المفاهيم السائدة وزلزلت أسس الفيزياء. هذا البحث كان مدهشًا لعمقه، وللدقة البالغة التي تناول بها كل فكرة تبدو "بديهية". لم يكن ممكنًا الهروب من منطق أينشتاين القاطع، الذي أوصل القرّاء إلى نتائج متناقضة ظاهريًا، رغم مقاومتهم الداخلية، لكنها ناتجة بشكل حتمي من هاتين الفرضيتين.

والمفاجئ أن كلا الفرضيتين لم تكونا مجهولتين آنذاك. لقد كان أينشتاين أول من فكّر بعمق في ما ينتج عنهما عند جمعهما معًا.

هاتان الفرضيتان جاءتا من مجالين مختلفين من الفيزياء، وتم جمعهما لأول مرة في ورقة أينشتاين.

ما هما؟

الأولى تقول :إذا كان هناك مراقبان يتحركان بالنسبة لبعضهما بحركة مستقيمة ومتساوية، فإنهما في حالة متطابقة تمامًا. أي أنه لا توجد وسيلة لتحديد أيهما يتحرّك وأيهما ساكن. فالسؤال عن "الحركة الحقيقية" لا معنى له. لا توجد حركة مطلقة، فكل حركة نسبية.

هذا المبدأ معروف منذ أيام غاليليو، وينسجم إلى حد ما مع "الفطرة السليمة". فالكل يعلم من التجربة أنه عندما نجلس في سفينة أو طائرة ونغلق أعيننا، يصعب التمييز بين السكون والحركة المنتظمة.

أما الفرضية الثانية فهي مختلفة قليلًا. فقد كان من المعروف لدى الفيزيائيين أن سرعة الضوء تظل ثابتة عند قياسها من قبل أي مراقب، بغض النظر عن حركته. لكنهم اعتبروها ظاهرة غريبة تحتاج لمزيد من البحث. أما أينشتاين، فقد رفعها إلى مستوى "مبدأ أساسي."

وقد اكتشف هذه الظاهرة العالمان ميكلسون ومورلي عام 1887، حين أرادا مقارنة سرعة الضوء في اتجاه الشرق والغرب، وبين اتجاه الشمال والجنوب. وهي أشبه بمقارنة

نتائج القياس بين مختبرين، أحدهما يتحرك مع الأرض، والآخر لا يشارك في حركة دورانها اليومية. وكانت المفاجأة أن السرعة نفسها ظهرت في الحالتين. وقد صعّب هذا الأمر على العلماء تفسير حركة "الوسط المنتشر" الخفيف الذي يُفترض أن الضوء يسير عبره.

ومع تكرار الفشل في محاولة تفسير النتائج طبقًا لفيزياء القرن التاسع عشر، جاء أينشتاين في عام 1905 ليقطع هذا الجدل، معلنًا أن هذا الواقع يجب قبوله كمبدأ طبيعي ثابت، لا أكثر.

الجمع بين الفرضيتين أدى إلى صياغة جديدة تمامًا لمبدأ النسبية. فإن ما ينطبق على سرعة الضوء، ينطبق أيضًا على الظواهر الكهرومغناطيسية الأخرى. ولذا أعلن أينشتاين أنه لا توجد تجربة فيزيائية يمكنها التمييز بين أي نظام متحرّك وآخر. فجميع الأنظمة التي تتحرك بشكل مستقيم ومتساوٍ بالنسبة لبعضها البعض هي متساوية تمامًا.

ما النتائج التي تنبثق عن هاتين الفرضيتين؟ ربما يدرسها طلبة الجامعات في عام 2965 ضمن تجارب عملية. يُطلب من طالبَين، مثل "محمود" و"أحمد"، أن يجلسا في مركبتَين فضائيتَين متماثلتَين، ثم ينطلقا في اتجاهين مختلفين. تحتوي كل مركبة على مصدر ضوء وجهاز استقبال. قبل الانطلاق،

يُجري الطالبان مقارنة بين ساعاتهم ويتفقان على ترددات الإرسال والاستقبال.

المهمة الأولى: يجب على كل واحد منهما أن يقيس الوقت الذي يستغرقه شعاع الضوء ليعبر المركبة التي يجلس فيها من طرف إلى آخر. بعد توقف المحركات، تبدأ المركبتان في الحركة المنتظمة، ويبدأ الطالبان القياس.

ثم يُبلغان معلمهما بالنتائج، ويتضح أن الوقت متساوٍ تمامًا بين المركبتين. وهذا منطقي، لأن التجربة واحدة، والمركبتين متماثلتين، وبالتالي الزمن الذي يقيسه أحمد هو نفس الزمن الذي يقيسه محمود.

المهمة الثانية أكثر تعقيدًا: يجب على كل طالب أن يقيس نفس الحدث في مركبة زميله. أي أن أحمد يقيس مرور شعاع الضوء في مركبة محمود، والعكس. وهنا تُستخدم أجهزة الإرسال اللاسلكي لإرسال توقيت الحدث من مركبة إلى أخرى. فيقوم أحمد بقياس الفاصل الزمني بين لحظة استقبال الإشارات من محمود، والعكس. والنتيجة؟ رغم اختلاف الرقم عن التجربة الأولى، إلا أنه متساوٍ بين المركبتين (لأن شروط القياس متماثلة تمامًا)، ولكن القيم أكبر قليلًا من السابق.

والاستنتاج: أن الزمن كما يُقاس من قبل مراقب متحرّك يظهر أطول مما هو عليه بالنسبة لمراقب ثابت بالنسبة للحدث. وكلما زادت سرعة الحركة، زاد الزمن المُقاس.

بمعنى آخر، الزمن نسبي. نتائج قياس الزمن تعتمد على حركة المراقب بالنسبة للحدث الذي يُقاس.

"هذا الاستنتاج ينبثق مباشرة من فرضيات أينشتاين"، يشرح أحمد لزميله محمود (أو العكس للحفاظ على التوازن بينهما). "لاحظ أن شعاع الضوء يعبر الغرفة بشكل عمودي فقط عندما نراقب الشعاع في مركبتنا نحن".

"أما عندما نلاحظ شعاع الضوء في مركبة الآخر، فإننا نراه يسير مسافة أطول، وهي تمثل الوتر في مثلث، أضلاعه هي: عرض المركبة، والمسافة التي قطعتها المركبة خلال زمن عبور الشعاع. بما أن سرعة الضوء ثابتة لكلانا، فإن المسافة الأطول تعني زمنًا أطول. وهكذا، فإن الزمن الذي يستغرقه الشعاع لعبور المركبة يبدو أقصر لنا حين نكون داخلها، وأطول حين ننظر إليها من الخارج".

وبهذه الطريقة يُثبت الطالبان بشكل عملي أن الزمن ليس قيمة مطلقة، بل مفهوم نسبي يتغير حسب الحركة.

بعد هذا الاكتشاف، يتناول الطلاب طعامهم بهدوء، دون أن يُظهروا أي انفعال تجاه الطابع الثوري لما توصّلوا إليه. لكن

بالنسبة إلى علماء عصر أينشتاين، لم يكن من السهل تقبّل هذه الاستنتاجات الجديدة.

"الزمن ليس مطلقًا" "!الزمن يعتمد على حركة المراقب "! "الحدث الواحد يحدث بسرعات مختلفة حسب نقطة المراقبة"!

مثل هذه العبارات، رغم أنها تعبّر عن حقيقة واحدة، كانت تبدو غريبة، غير مألوفة، وتناقض ما يُسمّى "الحس السليم". وكان من الأصعب تقبّل الاستنتاج الذي ينتج من تماثل المراقبين: أن كل شخص يرى أن قياساته الخاصة تُظهر زمنًا أقصر.

فمثلًا، يخبر محمود زميله أحمد: "الضوء قطع المسافة في مركبتي خلال جزء واحد من مليون من الثانية، وفي مركبتك خلال 1.1 جزء." ثم يرد أحمد على محمود بنفس العبارة ولكن بالعكس. ويكمن التناقض في أن محمود يرى أن ساعة أحمد أبطأ، بينما أحمد يرى أن ساعة محمود أبطأ.

لكن، أليس من الممكن أن نعرف من منهما لديه الساعة الأبطأ بعد عودتهما من الرحلة؟ نعم، يمكن مقارنة الساعتين، لكن هذه ليست الطريقة المناسبة لفحص استنتاج نظرية النسبية الخاصة، لأنها تتعلق فقط بالحركة المنتظمة المستقيمة. وفي

مثل هذه الحالة، لا يستطيع المراقبان اللقاء إلا مرة واحدة، ولا يمكن مقارنة ساعاتهم إلا عبر إرسال الإشارات.

ورغم ذلك، إذا تمت مقارنة الساعتين عند العودة، هل ستُظهران نفس الزمن؟ أم أن واحدة منهما ستكون قد تقدّمت؟ للإجابة بدقة، يجب وصف حركة المركبتين بالنسبة إلى النجوم.

وهناك حالة تستحق الانتباه: إذا انطلقت مركبة في رحلة طويلة ثم عادت في وقت لاحق، وكانت الساعتان – في المركبة وفي مركز الإطلاق – متطابقتين قبل الانطلاق، فستُظهر الساعة في المركز مرور وقت أطول مقارنة بساعة المركبة. وإذا تمت الرحلة بسرعة عالية جدًا (قريبة من سرعة الضوء)، فربما تمر عشرات أو مئات السنين في مركز الإطلاق، مقابل بضع سنوات فقط داخل المركبة.

ليس لدينا وقت للتوسّع في هذه النتائج الغريبة. يكفي أن نُشير إلى أن منطقًا فيزيائيًا صارمًا، يستند إلى فرضيات لا شك فيها، أوصلنا إلى نظرة جديدة تجاه مفهوم أساسي هو "الزمن". فزمن الحدث الواحد ليس متساويًا إذا رُصد من أماكن مختلفة.

ومن الواضح أن هذه النتيجة، وحدها، كافية لتُزعج "الفطرة السليمة". فبعد أن أنهيت شرحي، تدخل "الحس السليم" قائلاً:

"ما هذا الكلام عن زوايا النظر؟ كم من الوقت مضى في الواقع؟"

"لا شيء! لا يمكن طرح السؤال بهذه الطريقة".

"كيف لا يمكن؟ هذا جنون"!

"ليس كذلك. هناك أمور لا يجوز السؤال عنها. هل توافق أن السؤال: أي مدينة أقرب، لينينغراد أم باريس؟ هو سؤال لا معنى له؟ بالنسبة لنا نحن سكان موسكو، لينينغراد أقرب، أما بالنسبة لسكان مرسيليا، فباريس هي الأقرب".

"لكن هذا شيء مختلف"!

"لا، ليس كذلك. إنها نفس الفكرة: لا يمكن الإجابة عن سؤال غير منطقي".

"لكن لماذا يكون السؤال عن الزمن بين إطلاق رصاصة ووصولها إلى الهدف سؤالًا غير منطقي؟ فالزمن"...

"نعم، الزمن... أردت أن تقول ما هو الزمن؟"

"الزمن... لكن الجميع يعرف ما هو الزمن... هو ما نقيسه بالساعات".

"ممتاز. إجابة جيدة. هذا ما بدأت به شرحي. فقط أريد أن ألفت نظرك إلى أننا غالبًا ما نحمل ساعاتنا معنا، ونقيس بها زمننا الخاص؛ أما زمن الآخرين"...

"هذا كلام فارغ. كل الزمن واحد".

"ولكنه ليس كذلك. كل مسافر له ساعته الخاصة. وإذا أرادوا المقارنة، يجب عليهم إرسال إشارات لبعضهم. كما قلت لك، أحدهم يُلاحظ زمن الحدث حسب ساعته، والآخر – المتحرّك – يرسل إشارات تُخبر بزمن الحدث على ساعته. فنستنتج أن الزمن كما يُقاس من قبل الأول أطول".

"لكن أنت تتحدث عن الساعات، وأنا أتحدث عن الزمن. الزمن هو"...

"ما هو الزمن؟ لقد اتفقنا للتوّ أن الزمن هو ما يُقاس بالساعات".

"أرجوك، لا تُربكني. أشعر أن هناك شيئًا غير منطقي هنا. عقلي يرفض هذا الكلام"...

نعم، من الصعب جدًا مجابهة "الحس السليم". لكن الأصعب هو النقاش مع من يُقصي المنطق في سبيل الأفكار الشائعة.

من المؤكد أن آلاف الفيزيائيين استقبلوا نظرية النسبية بدهشة وإعجاب واحترام أمام قدرة التفكير التحليلي. وقد دققوا في منطق أينشتاين، ولم يجدوا فيه أي خلل.

أما أنصار "الحس السليم"، فقد واصلوا الغضب والمطالبة بـ "أدلة أخرى" لسنوات طويلة (ومن المدهش أن بعضهم لا يزال يطالب بذلك حتى الآن). ومع ذلك، ظهرت الأدلة بكثرة بعد سنوات، عندما بدأ الفيزيائيون العمل على جُسيمات تتحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء.

وقد ذكرت فقط النتيجة المتعلقة بفواصل الزمن. وهناك نتائج ثورية أخرى تتبع بنفس الصرامة من فرضيات النظرية، مثل: زيادة كتلة الجسيم مع السرعة، ومبدأ تكافؤ الطاقة والكتلة.

وقد ثبت بسهولة تجريبية زيادة الكتلة، وتم ذلك منذ زمن طويل على الإلكترونات. أما تحقق تكافؤ الطاقة والكتلة، فقد أصبح ممكنًا حين بدأ العلماء بدراسة التحولات النووية، وأصبحت معادلة أينشتاين أساسًا لكل الحسابات الخاصة بالتفاعلات النووية. وأحد الاختبارات الحديثة كان إثبات تمدد الزمن لدى جسيمات متحرّكة في المختبر.

وبطبيعة الحال، لم يعد الفيزيائيون يعتبرون هذه التجارب مجرد اختبارات للنظرية؛ لقد أصبحت أساسًا لعملهم اليومي.

إن أهمية نظرية النسبية تتجاوز كونها قانونًا جديدًا للطبيعة، فقد أحدثت تغييرًا نفسيًا تدريجيًا في تفكير العلماء. فقد أصبحوا حذرين جدًا من الاستنتاجات الناتجة عن "الحس السليم". وتعلّموا أن يفحصوا كل عبارة تُعلن "حقيقة علمية" من كل زاوية. صاروا يشككون في الكلمات، ويتجنبون العبارات الفارغة التي لا يدعمها شيء. وأدركوا ضرورة التخلص من أي أثر "أرسطوي" في العلم.

علمتهم مفارقة الزمن أن كل مفهوم يظهر في معادلاتهم يجب أن يجيب على سؤال: "كيف يمكن قياسه؟" أو أن يرتبط بكميات قابلة للقياس عبر علاقات وظيفية.

إذا أمكن تحديد طريقة قياس الكمية، فلا داعي لإضافة شيء آخر. فـ "الطبيعة موضوعية" بمعنى أنها موجودة بشكل مستقل عن الباحث؛ أما الكميات الفيزيائية، فيتم اقتراحها وإدخالها في التداول من قبل مراقبي الطبيعة لتسهيل وصفهم لها.

وبتدريج، وإن تأخر ذلك نسبيًا، بدأت الكتب المدرسية تخلو من التعريفات الفارغة، والتراكيب اللفظية عديمة المعنى، والتعريفات التي تُعطي انطباعًا بوجود معنى عميق لم يُكتشف بعد.

في إحدى الحصص، سأل المعلم: "ما هي القوة؟ "أجاب الطالب: "القوة هي كمية فيزيائية تُقاس بمقدار تمدد النابض ". ولم تكن إجابته سيئة إطلاقًا .لكن المعلم قال: "لا، لا، لقد قلت لي كيف نقيس القوة، وأنا أسأل ما هي القوة؟"

فأجاب الطالب مترددًا: "القوة هي... دافع، تأثير، سبب الحركة ".فقال المعلم مبتهجًا: "رائع".

لكن الحقيقة أن الإجابة الأولى كانت ممتازة. أما باقي الكلمات فهي مجرد عبارات فارغة.

وبعد الدرس الذي قدّمته النظرية النسبية، أصبح البناء الفيزيائي أكثر وضوحًا ودقة. وبدأت تفسيرات الظواهر الفيزيائية تأخذ طابعًا محددًا وواضحًا.

أحيانًا يُطلب مني من قبل وزارة التربية والتعليم أن أحضر الامتحانات المدرسية في الفيزياء. وإذا لاحظت طالبًا مميزًا، أطلب إذنًا من المعلم لأطرح عليه بعض الأسئلة الإضافية.

"ماذا يحدث للقضيب النحاسي عند تسخينه؟ "فيجيب الطالب بتردد: "يتمدد." ويتساءل إن كان هناك خدعة في السؤال.

"لماذا؟" "لأن كل الأجسام تتمدد بالتسخين" ".ممتاز. لماذا؟ " فيفكر الطالب: "عند التسخين، تتحرك الذرات بسرعة أكبر، فتبتعد عن بعضها، وتزداد

...وتزداد المسافات بينها، فيتوسّع حجم الجسم".

"ممتاز." أتوقّف قليلًا، ثم أتابع: "والآن، أخبرني، لماذا تتحرك الذرات أسرع عند التسخين؟"

يصمت الطالب، في حيرة. ينظر إلى أستاذه متوسلًا، وكأن نظراته تقول: "لم تخبرنا بذلك." والمعلم بدوره ينظر إليّ وكأنه يفكر: "ما هذه الأسئلة؟ من يعرف لماذا؟"

لكن واحدًا من بين كل عشرة طلاب، يرفع كتفيه بدهشة ويجيب ببساطة: "الجزيئات تتحرك أسرع عند التسخين، لأن هذه طبيعة المادة... إنه قانون من قوانين الطبيعة".

رائع! هذا تمامًا ما كنت أتمناه. لقد أدرك هذا الطالب أن تفسير الظواهر في الفيزياء يعتمد على توسيع الخاص ليصبح عامًا، وأن التفسير المنطقي يُبيّن أن الظاهرة المعينة ليست إلا حالة خاصة من قانون عام للطبيعة. والقانون العام يُسمّى كذلك لأنه لا يمكن اشتقاقه من شيء آخر. بالطبع، هذا الوصف قد يكون مؤقتًا؛ فمع تقدم العلم، ترتفع سقوف التفسير. وما يبدو اليوم قانونًا عامًا للطبيعة، قد يتبين لاحقًا أنه مجرد نتيجة لقانون أشمل لم يُكتشف بعد. وهذا بالضبط ما حدث مع قوانين نيوتن في الحركة. فمنذ اكتشافات أينشتاين، أصبحت معادلات نيوتن مجرد حالات خاصة لقوانين الحركة عندما تكون السرعات منخفضة.

وقد أدّى إنجاز أينشتاين الفريد إلى فهم أعمق لدور النظرية في العلم الطبيعي. ففي الماضي، إذا سألت عالمًا فيزياء عن هدف النظرية، ربما قال: "لفهم طبيعة الظاهرة، وتصوّر

شكلها، واكتشاف آليتها، ورسم صورة عنها". لكنني أعتقد أن عددًا قليلاً جدًا من العلماء اليوم سيقدّم مثل هذا الجواب المبهم. فمثل هذا السؤال اليوم يُستقبل بإجابة أوضح، وربما أكثر اعتزازًا: "هدف النظرية هو التنبؤ بالظواهر".

الفكرة التي كانت شائعة في القرن التاسع عشر، وهي أن مفاهيم الطبيعة يجب أن تكون مرئية وقابلة للرسم، تبيّنت لاحقًا أنها غير فعالة. فنظرية النسبية لم تطرح نموذجًا ميكانيكيًا جديدًا يُعوّض عن الوسط المنتشر الذي دفنته، ومع ذلك، كانت قيمتها وقوتها بلا جدال، لأنها جعلت من الممكن التنبؤ بالعديد من الظواهر المهمة قبل أن تتوفر حتى أي وسيلة لرصدها.

فكر في الأمر: أليس من المدهش أن العقل البشري قادر على إزالة عنصر المفاجأة، ويستطيع التنبؤ بنتائج أحداث لم تقع بعد؟ أليست هذه هي القوة التي ظلّت الأديان تُنسبها إلى قوى عليا؟ فالرغبة في فهم العالم لا تهدف في النهاية إلا إلى التنبؤ بالمستقبل.

ومع ذلك، لم تكن نظرية النسبية وحدها هي التي شكّلت نمط التفكير الفيزيائي المعاصر. فقد لعبت الاكتشافات المذهلة في عالم الذرّات دورًا هامًا أيضًا.

الفصل الثامن: الاستسلام النهائي

يتناول هذا الفصل كيف فقد "الحس السليم" مصداقيته أخيرًا بعد اكتشاف قوانين حركة الإلكترونات.

عندما يتساءل الطفل عن كيفية عمل لعبته المفضلة، يحاول معرفة ذلك بتفكيكها. ويبدو أن الإنسان يحتفظ بهذه الفضولية طوال حياته. على الأقل، هكذا أفسر اهتمام الجمهور الواسع ببنية المادة. "ممَّ يتكوّن الجزيء؟ آه نعم، من ذرات، أتذكّر الآن. لكن كيف، مثلًا، يُبنى جزيء الماء؟"

"هذا سؤال سهل. انظر إلى هذا الرسم: ذرة أكسجين في الوسط، وعلى جانبيها ذرتا هيدروجين".

"رائع، كم هو بسيط! بل إن العلم تمكّن من تحديد أن الذرات الثلاث لا تقع على خط مستقيم واحد. الآن أصبح لديّ تصور لبنية جزيء الماء. ولكن، ممَّ تتكوّن الذرّة نفسها؟"

مع بداية القرن العشرين، قبل الفيزيائيون النموذج الذي اقترحه إرنست رذرفورد، والذي يفترض أن هناك نواة صغيرة موجبة الشحنة، تحيط بها مجموعة من الإلكترونات، عددها يعادل موقع العنصر في الجدول الدوري.

"كم هو بسيط!" هذا ما قاله قراء المجلات العلمية آنذاك. "إنها تشبه النظام الكوكبي تمامًا".

لكن الفيزيائيين استمروا في تفكيك مكونات المادة إلى أجزاء أصغر فأصغر. إلى أن وصلوا إلى النواة الذرية، ووجدوا أنها تتكوّن من جسيمات تُسمّى النيترونات والبروتونات.

"مذهل!" قال القرّاء. "هل النواة أيضًا تشبه النظام الكوكبي؟"

"لا، لا"، أجاب الفيزيائيون، "يمكنكم تخيّل النواة كما لو كانت حبّات بازلاء في صحن. هل هذا واضح؟"

"نعم بالطبع، واضح وبسيط للغاية".

ومع تطوير الأدوات العلمية، ورفع قدرتها، استمر الفيزيائيون في جعل الجزيئات تصطدم ببعضها وتحليل نتائج هذه التصادمات. وبحلول منتصف القرن، توفّرت بيانات تجريبية كافية للإجابة عن الأسئلة المُلحّة لدى محبّي العلم.

"ممَّ يتكوّن البروتون والنيترون؟"

"تبيّن، حسب التجارب، أن البروتون يمكن أن يتحوّل إلى نيترون وجسيم موجب".

"مثير جدًا. إذًا فالبروتون يتكوّن من نيترون وجسيم موجب؟"

"تمهل قليلاً"، يقول الفيزيائي، "لا يمكنك صياغتها بهذه الطريقة. فالتجارب تُثبت أيضًا أن النيترون يمكن أن يتحوّل إلى بروتون وجسيم سالب".

"كيف يمكن هذا؟ لا أفهم. هل البروتون جزء من النيترون؟ أم النيترون جزء من البروتون؟"

"لا هذا ولا ذاك"، يجيب الفيزيائيون. "كلاهما يُعتبر جسيمًا أوليًا، وتتحكم فيهما قوانين التحوّل".

"هممم... فهمت... لكن كنت أظن أن الجسيمات الأولية لا تتحوّل! كيف تكون أولية إن كانت تتغير؟ أضف إلى ذلك أن البروتون يظهر داخل النيترون والعكس... الصورة القديمة كانت أوضح... نحتاج إلى مزيد من الأبحاث".

طالما أن التصورات البنيوية يمكن رسمها على الورق، فإن فهم أساسيات الفيزياء لا يكون صعبًا. وأحيانًا، بدلاً من رسم توضيحي، يمكن الاستعانة بصورة مألوفة – مثل بازلاء في صحن – أو مثال من الواقع لتقريب الفكرة. ويظن المستمع عندئذ أنه فهم كل شيء. كما كان يقول الفيزيائي الراحل ياكوف فرينكل: "الأشياء ليست غامضة، بل فقط غير مألوفة." وهذه بالفعل حقيقة ذهبية.

نحو نهاية الأربعينيات، اشتهرت بمحاضراتي العامة. وطُلب مني مرارًا أن أشرح الطاقة الذرية. وبعد عدة محاضرات حاولت فيها ربط الانفجارات النووية بقانون تكافؤ الكتلة والطاقة، لاحظت أن الجمهور يواجه صعوبة في استيعاب ما أقول. فقررت تغيير أسلوبي، وبدأت المحاضرات بالعبارة: "كلنا نعلم أن احتراق الخشب يُنتج حرارة." وأومأ الحضور تأكيدًا.

ثم أتابع: "الحرارة الناتجة هي نتيجة التفاعل الكيميائي للاحتراق. حيث تصطدم جزيئات الأكسجين بجزيئات الوقود، فتُكسّر التركيبات القديمة وتُكوّن أخرى جديدة".

ثم أوضح أن الجزيئات الجديدة تتحرك أسرع من القديمة. وهذا هو الأساس، لأن الحرارة مرتبطة بسرعة حركة الجزيئات.

"هل أصبح واضحًا لماذا يُنتج احتراق الخشب حرارة؟" ويُبدي الحضور فهمهم الكامل. فهم رأوا الاحتراق بأعينهم، والعلم أكد أنه كذلك.

ثم أتابع: "إطلاق الطاقة الذرية يُشبه كثيرًا إطلاق الطاقة الكيميائية، لكن في الكيمياء تحدث التصادمات بين الجزيئات، أما في الظواهر النووية، فإن التصادمات تقع بين الأنوية الذرية".

هذا الأسلوب هو مناورة غير مباشرة، أشرح فيها مفاهيم جديدة بناءً على أمور مألوفة. ويكون النجاح مضمونًا، لأننا نُبسط الجديد عبر ما اعتدنا عليه. وفي الحقيقة، فإن الشرح لا يكون للظاهرة الجديدة، بل للظاهرة المألوفة، ثم ننتقل إلى الجديد بالقول إن الظاهرتين متشابهتان تمامًا، فيتقبّلها العقل بسلاسة.

لكننا ابتعدنا قليلاً عن صلب الموضوع.

كنا نقول إن إنجازات الفيزيائيين في فهم بنية المادة يمكن تبسيطها بسهولة طالما أنها لا تُناقض "الحس السليم"، ويمكن شرحها باستخدام رسوم توضيحية ونماذج بسيطة. وهذا ما يؤكده واقع لاحق: فبعد الحرب، كتبت كتيبًا مبسطًا بعنوان "بنية المادة"، وأصبح من أكثر الكتب مبيعًا. وتلقّى الناشرون رسائل مثيرة من القرّاء، كان من بينها رسالة من فتاة تعمل في مزرعة ألبان جماعية.

قالت: "حضرة الأستاذ، قرأنا كتابك خلال وقت الغداء. إنه مكتوب بوضوح وبساطة لدرجة أننا أصبحنا جميعًا نُدرك كيف تُبنى الجزيئات".

وهكذا، فإن تبسيط البنية الداخلية للمادة ليس بالأمر الصعب. أما شرح قوانين حركة الجزيئات فهو شيء آخر تمامًا.

لقد كُشفت هذه القوانين قبل نحو أربعين عامًا، لكنها سبّبت حالة من الذهول لدى معظم الناس. لماذا؟ لأننا لم نكن نملك صورة مألوفة يمكن الاستعانة بها لتوضيح حركة الإلكترون. لم يكن هناك أي نموذج مألوف يمكن الاستناد إليه.

فعند التفكير في حركة الجسيمات غير المرئية، نحاول استحضار تجاربنا اليومية. وهناك طريقتان فقط لتصوّر هذه الحركة: الأولى كجسيم يتحرك مثل خرزة صغيرة، بحيث ينتقل من نقطة إلى أخرى في كل لحظة. ونحن نعرف أنه يمكن تصوير هذه الحركة، فلوحة التصوير تُظهر أثر الجسيم. الثانية: هي حركة وسط مستمر، كما يحدث في أمواج البحر.

حتى عام 1925، كان من المُسلّم به أن حركة المادة، سواء كانت ضوءًا أو موجات أو إلكترونات، تتبع أحد النموذجين السابقين. وفي الواقع، لم يكن بالإمكان تخيّل طريقة ثالثة. لكن تبيّن لاحقًا أن الجسيمات الأولية تتصرف أحيانًا كأنها خرزات، وأحيانًا كأنها مادة مستمرة. لم يعد من الممكن إسقاط قوانين حركة العالم الكبير على عالم الجسيمات الصغيرة.

حتى عام 1925، كان من المُسلّم به أن وصف حركة الجسيم يعني تحديد المسار الذي يسلكه وسرعته عند كل نقطة من ذلك المسار. ولكن هذا أثبت استحالته في حالة الإلكترون والجسيمات الأولية الأخرى. فقد صاغ الفيزيائي الألماني

إرفين شرودنغر القانون الأساسي لحركة الجسيمات الأولية (وإن لم يكن قانونًا شاملًا، إلا أنه يشمل فئة واسعة من الظواهر). المبدأ الأساسي لهذا العلم الجديد، الذي أصبح يُعرف بميكانيكا الموجة أو ميكانيكا الكم، كان غريبًا: فبعكس الميكانيكا التقليدية، فإن معرفة القوى الخارجية لا تكفي لتحديد مسار الجسيم وسرعته. قوانين الميكانيكا الجديدة تُتيح فقط حساب احتمال وجود الجسيم في نقطة معينة.

للوهلة الأولى، قد يبدو أن ميكانيكا الموجة ليست سوى نظرية ضعيفة تعجز عن تحديد الحركة الدقيقة للإلكترون. لكن الأمر ليس كذلك. فقد تبيّن لاحقًا أن معادلة شرودنغر تُقدّم معلومات كافية عن سلوك الإلكترون، وأن ما لا يمكن حسابه مبدئيًا لا يمكن قياسه مبدئيًا كذلك. فمثلًا، بمجرد محاولة "رصد" الإلكترون، يتم إزاحته عن مساره. وما لا يُقاس ولا يُحسب، لا يُمكن اعتباره موجودًا. وهكذا، كان لا بد من قبول فكرة أنه لا وجود لما يُسمى "مسار الإلكترون."

لكن إن لم يوجد مسار، كيف يمكن وصف الحركة؟ ما يُمكن حسابه وقياسه هو احتمال وجود الإلكترون في نقطة معينة. فإذا أخذنا مثالًا لإلكترون يدور حول نواة ذرية، لا يُمكن رسم مداره، ولكن يمكن تظليل منطقة على شكل حلقة تُعبّر عن احتمال بنسبة 99 إلى 1، أو 999 إلى 1، لوجوده داخلها (وفي الحالة الأخيرة تكون الحلقة أوسع).

عدم اليقين في معرفة موقع الإلكترون يُحدد بدقة مدى إمكانية حساب سرعته. وقد أثبت الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبرغ أن حاصل ضرب عدم اليقين في موقع الجسيم وعدم اليقين في سرعته يساوي رقمًا ثابتًا – هو ثابت بلانك – مقسومًا على كتلة الجسيم. لذا، كلما عرفنا السرعة بدقة، أصبح الموقع أقل تحديدًا، والعكس صحيح.

ورغم ذلك، قد يعتقد البعض أن هذه مجرد وصف غير دقيق لحركة الإلكترون، وأن "الحس السليم" يُخبرنا بأن له مسارًا، لكن العلماء لا يعرفون كيف يحسبونه أو يقيسونه.

لكن هناك تجربة تُثبت خطأ هذا الاعتقاد. تخيّل شاشة بها فتحتان، وُجه نحوها شعاع من الإلكترونات، تمر بعض الإلكترونات عبر الفتحات وتصطدم بلوحة تصوير خلف الشاشة. نُجري تجربتين: واحدة بفتحة واحدة مفتوحة، والأخرى بكليهما. عند المقارنة، نلاحظ في الحالة الثانية نمطًا من الخطوط الفاتحة والداكنة، وكأن الإلكترونات ضربت أجزاء من اللوحة وتجنّبت أخرى. وهذا غريب جدًا إذا تصورنا أن الإلكترونات تتحرك كخرزات صغيرة.

وتزداد الغرابة عندما نلاحظ أن في صورة الفتحة الواحدة، هناك نقطة ضربتها الإلكترونات، بينما في صورة الفتحتين، نفس النقطة لم تُمس. هذا يدعو للتعجّب، فقد يُفترض أن فتح

الفتحة الثانية يجب أن يؤدي إلى المزيد من الإلكترونات التي تضرب اللوحة.

ما نراه في هذه التجربة ينفي تمامًا فكرة أن الإلكترونات جسيمات تتحرك على مسار معين. لكن الظاهرة يمكن تفسيرها بسهولة إذا نظرنا للإلكترونات على أنها موجات. ففي تلك الحالة، إذا التقت قمة موجة مع قاع موجة أخرى، تلغي كل منهما الأخرى، رغم أن كل واحدة منها كانت لتُحدث تأثيرًا منفردًا.

والنتيجة الحتمية هي أن مفهوم الإلكترون كجسيم له مسار – وكذلك الجسيمات الأولية الأخرى – يتناقض مع التجربة.

أما السؤال: في أي الظروف وفي أي التجارب يظهر الإلكترون كموجة أو كجسيم؟ فقد تمت الإجابة عليه بالكامل من خلال معادلة شرودنغر.

هناك كمٌّ هائل من الحقائق التجريبية المعقدة التي تدعم هذه المعادلة. ويمكن استخدامها للتنبؤ بأحداث دقيقة في حياة الجسيمات الأولية. ولا يوجد فيزيائي واحد يُشكك في صحة هذا القانون الطبيعي.

وتُعزز قوانين ميكانيكا الكم فكرة ازدواجية الموجة والجسيم لتصبح مبدأً أساسيًا. ومع ذلك، يجب أن نتذكر ما قيل عن

الطبيعة المؤقتة لسقف التفسير العلمي. فقد يتحوّل ما نراه اليوم كمبدأ إلى نتيجة لقانون أوسع لم يُكتشف بعد.

ومن الحجج الذكية التي تدعم فكرة أن قوانين ميكانيكا الموجة ما هي إلا سقف مؤقت، ما طرحه – على حد اعتقادي – الفيزيائي الإنجليزي البارز بول ديراك.

القوانين الأساسية التي تحكم سلوك الذرات والجسيمات تحتوي على ثلاث ثوابت رئيسية: سرعة الضوء، شحنة الإلكترون، وثابت بلانك. وإذا ضربنا ثابت بلانك في سرعة الضوء وقسمنا الناتج على مربع شحنة الإلكترون، نحصل على الرقم 137. وهو رقم بلا وحدة، أي لا يعتمد على نظام القياس. لماذا هذا الرقم 137 وليس رقمًا آخر؟ على النظرية المستقبلية أن تُجيب على ذلك. فإذا نجحت، سيكون لدينا ثابتان فقط بدلًا من ثلاثة، حيث يجب أن تستنتج أحد الثوابت من الآخرين تلقائيًا.

ويبدو منطقيًا أن يكون ثابت بلانك هو الثابت المُشتق (دون الخوض في تفاصيل الحجّة، التي تظل غير قطعية). فالمسألة أن ثابت بلانك هو الذي يُحدد حدود الدقة التي يمكن بها تحديد موقع الجسيم وسرعته في آنٍ واحد، وهو أساس مبدأ عدم اليقين. واستنتاج هذا التحليل هو أن النظرية المستقبلية ستُسقط مبدأ هايزنبرغ، وتُغيّر فهمنا لازدواجية الموجة والجسيم.

قبل خمسة وعشرين عامًا، بدا أن هذا التطور النظري بات وشيكًا. لكن مسار العلم لم يُحقق هذه الآمال بعد، والتفسير الجديد لحركة الجسيمات الأولية لا يزال بانتظار مُبدعه.

ومع ذلك، سواء تم تفسير ازدواجية الموجة والجسيم في المستقبل أو لا، وسواء كانت نتيجة لقانون أوسع أو لا – ففي جميع الحالات، فإن تصوّر حركة الجسيمات الأولية بشكل بصري أمر مستحيل. وهذه الحالة كانت لا تُحتمل بالنسبة للفيزيائيين المخضرمين الذين نشأوا على مفاهيم القرن التاسع عشر.

وللتعرّف على حالتهم النفسية، من المفيد تصفح صفحات من المجلد الإضافي لسلسلة كتب "دروس في الفيزياء" التي كتبها أورِست خفولسون. فقد كُتب هذا الجزء قبيل وفاته، وصدر في بداية الثلاثينيات. واليوم، لا يُطالع هذه الكتب الخمسة الضخمة إلا من يهتم بالفيزياء القديمة. نُشرت هذه الكتب في العشرينيات، وكانت تقدم عرضًا شاملًا للفيزياء النظرية والتجريبية التي أُنتجت في القرن التاسع عشر، بلغة علمية دقيقة. وكانت الظواهر تُفسّر بمنهج واحد، يعتمد على الحركة الميكانيكية للجزيئات والطبيعة المتصلة للأوساط. كانت هناك نقاط غامضة بالطبع، لكنها اعتُبرت مؤقتة، غير مهمة، ويمكن تجاهلها.

كان خفولسون معلّمًا ممتازًا ومُبسّطًا بارعًا للفيزياء، ولم يكن ليغضّ الطرف عن ولادة أفكار علمية جديدة. لقد أدرك أن بناء الفيزياء يجب أن يُعاد من أساسه. ولم يكن قادرًا على إعادة كتابة موسوعته الكاملة، فقرر أن يؤلف مجلدًا خاصًا عن أحداث العقد الأخير. لكن، يا له من اختلاف! فما الذي حدث للنغمة الرصينة والواثقة، والإيمان الثابت بثوابت العلم الفيزيائي؟ أرغب في أن أنقل لك بعض المقاطع التي تُظهر مدى الصدمة التي عاشها معاصرو اكتشاف ميكانيكا الجسيمات.

كتب خفولسون أنه أثناء عرضه لمبادئ ميكانيكا الجسيمات الدقيقة، واجه صعوبات هائلة، قائلاً: "يمكننا استبدال كلمة 'صعوبة' بكلمة 'استحالة'." وأوضح أن أكبر العقبات تكمن "في الطابع التجريدي للمفاهيم والكميات الأساسية التي تعتمد عليها هذه العلوم الجديدة". ثم أضاف: "إن الأسس، ليس فقط للعلم، بل جزئيًا للتفكير العلمي نفسه، بما في ذلك قانون السببية الذي لطالما اعتُبر ضروريًا لكل بناء علمي والذي كان يُعد غير قابل للدحض – كل ذلك يجري تحطيمه بلا رحمة. ولم يعد من المقبول تفسير الظواهر على أساس فرضيات واضحة المعالم تتعلق بمصادرها الأولية المخفية عن أعيننا وعن أدواتنا. لقد ارتفعت فكرة أن العلم يجب أن

يقتصر على الكميات التي يمكن ملاحظتها وقياسها إلى مستوى العقيدة الفكرية".

ومع ذلك، رأى خفولسون أن هذا الوضع مؤقت، قائلاً: "سيأتي اليوم الذي تتبدد فيه الغشاوة، وتظهر الحقيقة بكل عمقها وجمالها".

ورغم أن صحة قوانين ميكانيكا الموجة تم الاعتراف بها فورًا، وبدأت تطبيقاتها تنتشر بسرعة مذهلة، إلا أن العلماء ظلّوا منزعجين من حرمانهم من إمكانية تصوير حركة الإلكترونات والجسيمات الأخرى بشكل بصري واضح.

لكن جيلًا جديدًا من الفيزيائيين بدأ يظهر – جيل لم يضطر إلى فك ارتباطه بالماضي. فقد قبل هؤلاء الشبان فرضيات حركة الجسيمات الدقيقة دون تحفظ. بل إنهم لم يفهموا لماذا كان الجيل السابق قلقًا من أن الظواهر على المستوى الذري تختلف عن تلك المشاهَدة في عالم الأشياء الكبيرة.

ومع مرور الوقت، ترسّخت القناعة بأن الدور الأساسي للنظرية الفيزيائية هو الربط بين الظواهر المختلفة. لم يعد أحد يهتم كثيرًا بالبحث عن نماذج تصويرية للظواهر "الذاتية"، أي تلك التي لا يمكن رصدها تجريبيًا من حيث المبدأ. أصبح العلماء أكثر انتقادًا للتصريحات غير المدعومة بإثبات تجريبي. وارتفع الإيمان بأن الطريق إلى الحقيقة يمرّ عبر

ربط الظواهر ببعضها البعض. هذا لا يعني أن التفكير التمثيلي قد اختفى تمامًا، بل أصبح أداة لصياغة وسائل تصويرية تساعد فقط على التفكير. فمثلًا، أصبح من الطبيعي استخدام نماذج ثلاثية الأبعاد تُمثّل سلوك الجسيم في فضاء غير تقليدي، حيث تكون المحاور هي سرعاته في الاتجاهات المختلفة، وليس في الفضاء المعتاد الذي نعرفه.

لم يعد هناك فجوة لا يمكن عبورها بين الميكانيكا القديمة والحديثة؛ فهما يندمجان بشكل طبيعي. وكلما ازداد وزن الجسيم، أصبح أكثر وضوحًا في وسط المعادلات الرياضية، فوفقًا لمبدأ هايزنبرغ، كلما زادت كتلة الجسيم، قلّ عدم اليقين.

إن عدم القدرة على تصور حركة الإلكترون لا يعني أننا لا يمكن أن نصنع نموذجًا لأشكال وأحجام وحركات الذرات والجزيئات. فنحن ما زلنا قادرين تمامًا على وصف حركة الجزيئات كما نُوصف سلوك الأجسام المرئية.

ثم إن الإنجازات الباهرة في علم المجهر الإلكتروني قد جعلتنا بالفعل نتمكّن من رؤية الجزيئات الكبيرة بأعيننا.

الفصل التاسع: الحاضر

في هذا الفصل يصف الكاتب عقلية زملائه في العمل كما يراها. ومن خلال ذلك، يكتشف القارئ رأيه تجاه ظاهرة "التخاطر الفكري."

عندما يُناقش أحدهم قدرات شخص على العمل العلمي، قد يقول بتقدير: "عالم حقيقي يمتلك تفكيرًا دقيقًا من طراز الفيزيائيين"، أو يقول باستخفاف: "فوضوي التفكير، وغير قادر على التفكير الفيزيائي".

غياب "التفكير الفيزيائي" يُعتبر نقصًا بالنسبة للعلماء الطبيعيين، أما في المجالات الأخرى، فلا يُعد أكثر أهمية من غياب الأذن الموسيقية عند رياضي بارز. ولهذا، يمكن أن تسمع عبارات مثل: "رجل يمتلك مهارات رفيعة وحدسًا رائعًا، تقني موهوب. لا يحب التفكير الفيزيائي ولا يُجيده، لكن ذاكرته القوية وحدسه الطبيعي يُمكنانه من تحقيق إنجازات استثنائية".

أو في دائرة أخرى: "لا، إنه ليس فيزيائيًا، بل رياضي من الطراز الأرفع. أعماله كأنها شبك دانتيل ناعم، لكن التفكير الفيزيائي غريب تمامًا عليه".

فما هو هذا "التفكير الفيزيائي" الذي يصف به الناس عقلية العالم الطبيعي الجيد؟ آمل أن تكون الفصول السابقة قد منحت القارئ تصورًا للتغير التاريخي في طرق التفكير العلمي. هذا "الفيزيائي النموذجي"، كما أحب أن أصفه، يبدأ عمله بتحليل دقيق للحقائق المتوفرة. يسأل نفسه أولًا: هل يمكن تكرار الظاهرة؟ هل يمكن إعادة إنتاجها؟ فهذه خطوة ضرورية لاتخاذ موقف جاد تجاه أي ظاهرة.

الحدث الواحد قد يكون مادة للحديث الودي، لكنه لا يُمثل نقطة انطلاق لتحقيق علمي. ومثال واضح على ذلك هو ظاهرة التخاطر الفكري، التي عادت لتثير اهتمام العامة. من اللافت أن الأشخاص البعيدين عن العلم يحبّون بشدة فكرة إمكانية نقل الأفكار عن بعد. مرارًا وتكرارًا، يتعرض الفيزيائيون لمواقف حماسية محمّلة بـ "أدلة عاطفية" من معارفهم، خصوصًا النساء منهم. تقول إحداهن: "حلمت أن ابنها مريض، فاستيقظت ونظرت إلى الساعة. بعد أسبوع، وصلتها رسالة تقول إن ابنها تعرّض في تلك اللحظة بالذات لأزمة قلبية. فكيف تُنكر أن الأفكار يمكن أن تُنقل عن بُعد؟"

يصغي العالم المتشكك إلى صاحبته الجميلة بانتباه، لكنه يُخفي بصعوبة اهتمامه بها أكثر من اهتمامه بما تقول. ثم تشتعل غضبًا: "يا لك من إنسان مستحيل! لماذا لا تهتم بهذه الأمور؟ هل العلم عاجز عن تفسير مثل هذه المعجزات؟"

فيُغيّر الفيزيائي الموضوع. لأنه يعلم أن جوابه لن يُثير اهتمامها.

أما أنا، فعندما يُروى لي شيء من هذا القبيل، أقول شيئًا كهذا:

"إذا أردت للعالم الطبيعي أن يتناول المشكلة بجدية، فعليك أن تُثبت أولًا إمكانية تكرار التجربة. مثلًا، ضع مئة شخص أمام قارئ أفكار، وليفكّر كل واحد منهم في اسمه. إذا تمكّن من تخمين اسم واحد منهم، وأنا واثق أن العرض لم يكن مُفبركًا، فسأبدأ فورًا بتنظيم مئة تجربة أخرى مماثلة. وإذا ثبت أن الوسيط يمكنه تخمين أفكار الآخرين مرة واحدة على الأقل من كل مئة مرة، فإن العلم الطبيعي سيتعامل مع الأمر بجدية".

وطبعًا، يحاول الآن بعض الدارسين "التقدميين" في هذا المجال سلوك هذا الطريق، مدركين أنه السبيل الوحيد لجذب انتباه القارئ العلمي. ومع ذلك، فإن التقارير العديدة عن "النجاحات" في هذا المجال لا تصمد أمام التدقيق العلمي الجاد. وهذا أمر متوقع، لأن نقل الأفكار عن بُعد يتعارض مع القوانين الأساسية للطبيعة، والتخاطر يحمل كل سمات العلم الزائف، والذي سأتحدث عنه لاحقًا.

وبالتالي، قبل أن تستحق الظاهرة التحليل الفيزيائي، يجب أن تكون قابلة للتكرار وإعادة الإنتاج. الملاحظة تُخبرنا أن حدثًا

معينًا يقع في ظروف محددة. لكن هذا لا يعني أنه ضروري الحدوث. وقد تُظهر الملاحظات التالية أن الحدث يقع بنسبة احتمالية معينة. وهذا يكفي لتبرير النهج العلمي. لكن لا بد أن نحدد بدقة ما معنى "احتمالية معينة."

لكي يتكوّن لدينا فهم صحيح بأن حدثًا ما يقع بنسبة معينة، ويُمكن تحديد هذه النسبة بدقة، يجب تكرار التجربة مرات كثيرة. فلو أجريت تجربة عشر مرات، ووقعت فيها ثلاث حالات مميزة، لا يمكنك القول بعد إن الاحتمالية هي 3 من 10. عليك الاستمرار. فقد تقع الحالة مرتين فقط في العشر التالية، ثم خمس مرات بعد ذلك، وربما لا تقع أبدًا في عشر محاولات أخرى. ولكي نُقرّ بأن حدثًا ما يحدث بنسبة معينة، يجب إجراء مئة، أو ألف، أو حتى عشرة آلاف تجربة. وإذا ثبت بعد هذه المحاولات أن نسبة النجاح تقترب من حد ثابت، يمكن القول بثقة إن احتمالية حدوث الحدث تساوي ذلك الحد.

كما ترى، ليس من السهل تحديد الاحتمالية، و"الفيزيائي النموذجي" لا يتسرّع في إصدار الأحكام بناءً على ملاحظات منفردة، خوفًا من الوقوع في الخطأ.

مثلًا: انظر من النافذة لترى من يمر أولًا، رجل أم امرأة؟ ستقول إن الاحتمال هو نصف النصف. كيف نتحقّق؟ نفترض أن نعد عدد الرجال بين أول عشرين شخصًا يمرون. هذا يبدو

كافيًا. فننظر، وإذا بنا نرى تسع عشرة فتاة رياضية ترافقهن مدرّب واحد في طريقهن إلى التدريب. هذا هو مفهوم الاحتمالية! فالتأثيرات الخارجية قد تشوّه رؤيتنا للظاهرة مؤقتًا. والفيزيائي النموذجي لا ينسى ذلك أبدًا، ولا يُصدر حكمًا متسرّعًا على احتمالية أي حدث.

ونسيان هذا المبدأ أدى مرارًا إلى نتائج مؤسفة، واكتشافات خاطئة، تم التهليل لها في الصحافة، والتغني بها، ثم...

ولكن، عندما يتم التأكد من حقيقة علمية، يبدأ العالم في التفكير: كيف يمكن وصفها بأوضح شكل؟ وهذه المرحلة تتطلب تصميم مفاهيم كمية صارمة ومحددة. وبديهيًا، يبحث العالم عن مفاهيم تكون بسيطة قدر الإمكان. لم يشكك أحد في استخدام مفهوم السرعة لوصف معدل الحركة. فقد اتُّفق على أن السرعة تُقاس بعدد الأمتار التي يقطعها الجسم في الثانية الواحدة، رغم أنه كان بالإمكان تعريفها باستخدام مربع هذه المسافة أو جذرها. تقديم كمية فيزيائية جديدة يعني تعريف إجراء القياس المطلوب لوصف الحدث بأرقام دقيقة.

اسمح لي أن أوضح هذا البيان المعقد من خلال مثال طريف.

تخيّل "الفيزيائي النموذجي" داخل مختبر تربوي، يُعرض عليه عملٌ بحثي أجراه أحد العاملين.

يقال له: "نحن ندرس الصبر الذي يُظهره تلاميذ المرحلة الابتدائية. هدفنا هو تحديد مدى تأثير التربية، وظروف الأسرة، والعوامل الوراثية".

فيقول الفيزيائي: "مثير للاهتمام! ولكن كيف تُعرّفون صبر الطفل؟"

يرد الباحث التربوي بتعجب: "نحن نسأله، ونسأل والديه ومعلميه، ونقيم سلوكه في مواقف مختلفة. ثم نقرر إن كان صبورًا أم لا".

فيعقّب الفيزيائي: "أنا كنت سأتبع نهجًا مختلفًا".

"وماذا كنت لتفعل؟"

فيقول: "هممم... ما الذي نختاره كوحدة قياس؟ على كل حال، يمكنكم التفكير في ذلك، وسأقدّم لكم مثالًا فقط. فلنفرض أنك تعطي طفلًا صندوقًا من أعواد ثقاب رديئة، وتطلب منه إشعال واحدة منها. لا تشتعل. يضرب عودًا، ثم آخر، ثم ثالثًا... حتى يصل الأمر إلى عود يجعل حتى أكثر الملائكة صبرًا يضرب الصندوق أرضًا غاضبًا. هذا العود يمكن أن يُستخدم كمؤشر لدرجة الصبر. شيء من هذا القبيل. فالبحث لا جدوى منه إن لم يكن هناك مقياس واضح يُعبّر عن الظاهرة".

يتفاجأ الباحث التربوي، ويعد بأن يُفكر في الأمر لاحقًا. يذهب الفيزيائي إلى منزله مقتنعًا بأن الوقت قد حان لتدخل التفكير الفيزيائي في مجال التربية.

وبعد تحديد الوحدات الكمية للقياس، يمكن البدء في التجربة العلمية. فجوهر عمل الباحث في العلوم الطبيعية هو البحث عن العلاقات والروابط بين المفاهيم المختلفة التي تصف الظاهرة والوسط الذي تحدث فيه. كيف تتأثر الموصلية الكهربائية بنوع المادة، والضغط، ودرجة الحرارة؟ كيف ترتبط سعة الجسم الحرارية بقدرته على تشتيت الأشعة؟ كيف تعتمد سرعة التفاعل الكيميائي على نوع المذيب، ودرجة الحرارة، والإضاءة؟ كيف تؤثر الأصوات المختلفة على الإشارات الكهربائية في الدماغ؟ كيف يتغيّر ميل إبرة البوصلة حسب خطوط العرض والطول الجغرافي؟... يمكن عرض كل العلم الطبيعي في صورة مثل هذه الأسئلة، والإجابات عنها.

لقد وصفت لك السمات المميزة للتفكير الفيزيائي كما تظهر في التجارب التي تستكشف الطبيعة. والآن لننتقل إلى النظرية.

هناك حقائق معروفة، لكنها ترفض التصنيف، ولا يمكن فهمها انطلاقًا من المفاهيم الموجودة، أو – الأفضل – تُناقضها.

في تلك اللحظة، يفرك المنظّر يديه بحماس ويبدأ العمل. فشرح هذه الظواهر يعني ارتقاء العلم إلى مستوى جديد. وما هو الأهم من ذلك؟ المبادئ الراسخة والنظريات الحالية تبدو عاجزة – إذًا، يجب صياغة تعميمات جديدة. يمكن أن تكون هذه التعميمات جريئة، أو حتى تبدو مجنونة. هدفها هو هزّ المفاهيم المعتادة، ودفع الناس إلى التفكير. وقد قال نيلز بور تعليقًا على محاولة هايزنبرغ لتفسير خصائص الجسيمات الأولية: "إنها بالتأكيد نظرية مجنونة. السؤال فقط: هل هي مجنونة بالقدر الكافي لتكون صحيحة؟"

هذا التصريح يحمل بذرة حقيقية: فلا يمكن تحقيق اختراق جذري جديد دون أن تتحلّى بالشجاعة لهدم المفاهيم القديمة.

لا يوجد فيزيائي معاصر يعارض نظرية جديدة فقط لأنها تُناقض الأفكار السائدة؛ كما أنه لا يلجأ إلى الحُجج الفلسفية. فمثلاً، قانون حفظ الطاقة هو حجر أساس في العلوم الطبيعية الحديثة، لكن إذا جاء أحدهم ليشكك فيه، فإن النظرية الجديدة ستخضع لتحليل صارم، ولن تُرفض فقط لأنها "غير ممكنة".

لقد علّمنا القرن العشرون درسًا مهمًا: لا تحاول حشر الأفكار الجديدة داخل الأطر القديمة.

لكن هذا لا يعني أن كل نظرية جديدة تُنكر القيم القديمة تستحق الاهتمام. فالإنجازات السابقة يجب أن تبقى سليمة، لأنها كانت ثمرة علمية لا يمكن أن تكون محض مصادفة. يجب أن تُظهر النظرية "المجنونة" أنها تتحوّل إلى نظرية مألوفة عند تطبيقها على ظواهر كانت تُفسّر من خلال المفاهيم القديمة. وهذا أيضًا من دروس القرن العشرين. فكل من النظرية النسبية وميكانيكا الكم تم عرضهما كتعميمات. وظلت ميكانيكا نيوتن القديمة قائمة كحالة خاصة ضمن هذه النظريات. فالنسبية تتحوّل إلى ميكانيكا تقليدية عندما تكون السرعة منخفضة، وميكانيكا الكم تتحوّل إلى الميكانيكا الكلاسيكية حين ندرس جسيمات ثقيلة بما يكفي.

الاستمرارية سمة أساسية في النظرية العلمية. فكل باحث جاد يهتم أولًا بأن اكتشافه الجديد لا يُفسد التناسق في مجالات عمل فيها العلم بنجاح دون مساعدته.

أما أصحاب "العلم الزائف"، فغالبًا ما يسعون أولًا إلى نسف القديم.

كما أن الأدب يعاني من المتطفلين على الكتابة، الذين ينهالون على دور النشر بالروايات والقصائد، طالبين الاعتراف

والفهم، ثم يملأون البريد بشكاوى عندما يُهملون. فللعلوم أيضًا مثل هذه الآفة: مؤلفو نظريات مشوشة عن البنية الذرية، مخترعو آلات الحركة الدائمة، ومكتشفو "الوسط الكوني" ذي الخصائص السحرية.

حتى إن كان الكاتب يمتلك علمًا كافيًا، ويكتب بلغة تبدو علمية، فإن طابع الزيف في نظريته يظهر بوضوح. فكل من يمثل "العلم الزائف"، سواء كان غريب الأطوار أو ساذجًا أو متلاعبًا، يبدأ عادة برغبة في هدم الأسس.

وغالبًا ما يتغاضى ذلك الباحث الزائف عن خطأ منطقي بسيط. فهو يبني نظريته الجديدة على حجج مستمدة من النظريات المعترف بها، ويُغفل أن هذه النظريات نفسها تُثبت استحالة ما يحاول بناؤه. كمثال: مخترع آلة للحركة الدائمة يصمم آلة معقدة وفق قوانين الميكانيكا، لكنه لا يدرك أن هذه القوانين نفسها تنفي إمكان بناء تلك الآلة.

إذًا، يجب أن تحتوي النظرية الجديدة على المفاهيم القديمة كحالة خاصة، وتُبرهن على جدواها عبر تفسير الظواهر التي كانت غامضة. ولكن هذا وحده لا يكفي. قبل أن يقبل المجتمع العلمي بنظرية "جريئة"، يجب أن تُستخدم للتنبؤ بظواهر لم تُلاحظ من قبل. ولا تُمنح النظرية الاعتراف النهائي إلا عندما تتحقق هذه التنبؤات.

حينها فقط، يُعاد النظر في المفاهيم القديمة، ويتم استبدالها بالجديدة.

من الواضح إذًا أن دور النظرية في العلم الطبيعي لا يقتصر على اكتشاف قوانين جديدة، بل يتعدى ذلك إلى ما يُشبه "نقل" القوانين العامة للطبيعة إلى ساحة التطبيق العملي. ففي غالبية الحالات، لا نشك في أن الظاهرة تحدث وفق قوانين الطبيعة، ولكن علينا أن نُفسّر القوانين التي تحكمها. وهنا تكون المهمة هي اشتقاق قاعدة خاصة من قانون عام. ولتحقيق ذلك، ينبغي تبسيط الظاهرة ضمن حدود معقولة (دون أن نُفسد جوهرها)، ثم توضيح، من خلال استنتاج رياضي صارم، ما هي العلاقات التي تُعد نتائج ناتجة من تلك القوانين العامة المعروفة.

السمات الخاصة للتفكير الفيزيائي تظهر في صياغة المشكلة كما تظهر في حلّها. فليس كل حساب نظري مجديًا. قد تُجري النظرية حسابًا لنتيجة تجربة عملية، مثلًا: قد يحاول أحدهم حساب كثافة الماء نظريًا. وبعد عدة أشهر، يتوصّل إلى أن كثافة الماء، بدقة خمسة في المئة، تساوي واحدًا. لكن كثافة الماء يمكن قياسها عمليًا في بضع ثوانٍ، وبدقة تصل إلى أجزاء من الألف. فما جدوى الحسابات إذًا؟

في المقابل، من الواضح أن حساب الزاوية التي يجب إطلاق المقذوف بها لِيُصيب هدفًا محددًا هو أمر مُجدٍ تمامًا. صحيح

أنه يمكن تحديد الزاوية تجريبيًا بإطلاق ألف قذيفة بزوايا مختلفة، لكن التكلفة ستكون باهظة جدًا.

وينطبق الأمر نفسه على حسابات نظرية لعلاقات خاصة. مثلًا، يمكن حساب كيف يؤثر تغير درجة الحرارة على ضغط بخار مادة معينة، مثل البنزين، لكن نتائج هذه الحسابات المعقدة لا يمكن استخدامها للتنبؤ بسلوك أبخرة مواد أخرى. ومن الواضح أن القياس المباشر في هذه الحالة سيكون أسهل.

وباختصار، تُقدّر الفيزياء الحسابات النظرية إذا أدّت إلى قوانين عامة تشمل دائرة واسعة من الظواهر، وحين تكون دراسة هذه الظواهر تجريبيًا بحاجة إلى وقت وجهد كبيرين. فقط عندئذ يصبح الأمر مجديًا. وقد يبدو هذا بديهيًا، لكنه للأسف يُخالف كثيرًا من العلماء الطبيعيين – غالبًا أولئك الذين تنقصهم العقلية الفيزيائية.

حتى الآن، تحدثنا عمّا يمكن اعتباره "الطراز المعماري" للبحث العلمي. فلنقل الآن بضع كلمات عن كيفية وضع الأسس في العلم الطبيعي.

يمكننا بسهولة الإشارة إلى "المباني المكتملة": أولًا، علم الحركة الذي ينجح بدقة لا مثيل لها في التنبؤ بحركة الأجسام عند معرفة القوى المؤثرة عليها؛ والكهرباء والمغناطيسية، التي تتيح حساب المجالات الكهرومغناطيسية إذا عُرف توزيع

الشحنات والتيارات؛ ومن أجمل فروع العلوم الطبيعية: الفيزياء الإحصائية، التي تشرح سلوك وخصائص الغازات والسوائل والمواد الصلبة تحت تأثير الظروف الخارجية؛ أما سلوك النوى الذرية والإلكترونات فتتنبأ به ميكانيكا الكم بنجاح كبير.

كل هذه الفروع من الفيزياء تُشبه إلى حد ما هندسة إقليدس: بضعة بديهيات تُتبع باستنتاجات منطقية صارمة ونشرحيّات دقيقة، تُثبتها التجربة وفق درجة دقة الحسابات النظرية.

في بعض الحالات، تكون البديهيات الأولية بسيطة لدرجة أن قبولها كحقائق نهائية لا يُثير أي اعتراض. مثلًا، يمكن إثبات أن المبادئ الثلاثة التي تقوم عليها الميكانيكا – قانون حفظ الطاقة، وقانون حفظ كمية الحركة، وقانون حفظ الزخم الدوراني – يمكن إرجاعها إلى القول بأن كل المواقع والاتجاهات في الفضاء متكافئة.

ولكن ليس كل بديهيات العلم بسيطة. فهل ينبغي لها أن تكون كذلك؟ من يستطيع الإجابة؟ لقد قال بول ديراك إن البديهيات الأساسية ليست بالضرورة بسيطة، ولكن يجب أن تتمتع برشاقة وجمال رياضي.

هل يمكن اعتبار الجمال معيارًا في تقييم المعادلات؟ نعم. فالحكم على المعادلات الرياضية بأنها جميلة وأنيقة أو، على العكس، معقدة وثقيلة، أمر شائع بين الفيزيائيين.

قانون الجاذبية العام لنيوتن، بلا شك، قانون جميل. أترى خلاف ذلك؟ لا ترى جمالًا في المعادلة $F = (m_1 \cdot m_2) / r^2$ ؟

ولكن تأمّل كم هي متناسقة وبسيطة؛ فالجمال يكمن تحديدًا في هذا التناسق والبساطة. تخيّل لو قدّم أحدهم قانونًا للجاذبية يكون فيه المقام يحتوي على المسافة مرفوعة للقوة 2/9، والمُقام يحتوي على الجذر التربيعي لمجموع الكُتل، بدلًا من حاصل ضربها. ستكون معادلة غير جذابة، تُزعجنا من الناحية الجمالية، وتُثير الشك في صحتها.

قد يظن القارئ أنني أمزح. ولكن، لماذا تكون لدى الطبيعة ميول نحو المعادلات الجميلة؟

لا أعلم. ربما كانت الطبيعة رياضية ماهرة. على أي حال، لا يمكن إنكار أن كل المعادلات الأساسية في الفيزياء الحديثة تتوافق مع معيار الجمال الرياضي. ويمكنك أن تصدّق أن جمال وبساطة تمثيل القوانين الكهرومغناطيسية (مثل معادلات ماكسويل) تُشعل مشاعر حماسية داخل قلب الفيزيائي – خلافًا للفكرة الشائعة بأن الأعمال الفنية فقط هي التي تُثير المشاعر.

لكن، إذا كانت البديهيات التي تقوم عليها فروع الفيزياء المكتملة بهذه الجمال والدقة كما يصفها الكاتب، فهل يعني ذلك أن الفيزياء يجب أن تكتفي بها؟ إطلاقًا، بل العكس تمامًا. فخير مثال على ذلك هو سعي أينشتاين الحثيث نحو إيجاد نظرية الحقل الموحد. إذ إن منظومتنا من البديهيات ستكسب قيمة هائلة لو تمكنا من تمثيلها على أنها نتائج لقانون واحد شامل للطبيعة. وقد كرّس أينشتاين العقود الأخيرة من حياته للبحث عن معادلة يمكن أن تُشتق منها قوانين الحركة وقوانين الكهرباء والمغناطيسية على حدٍ سواء. للأسف، كانت جهوده الجبّارة بلا نتيجة. والزمن وحده سيكشف إن كان بالإمكان الوصول إلى مثل هذا القانون الشامل.

ومع ذلك، فإن الفيزيائيين في عصرنا أقل اهتمامًا بدمج علم الحركة والكهرباء، وأكثر تركيزًا على نظرية الجسيمات الأولية. فالحركة والكهرومغناطيسية تُعتبران من العلوم المكتملة، رغم أنهما تحت سقفين مختلفين. ويمكن تحويل المشكلات المرتبطة بهما إلى علماء التطبيق أو المختصين في الرياضيات الحاسوبية. أما علم الجسيمات الدقيقة، الذي يتطور بسرعة مذهلة أمام أعيننا ويمنحنا اكتشافات متواصلة مدهشة، فله شأن مختلف تمامًا: لا يزال بعيدًا عن كونه نظرية متماسكة؛ إنه حتى الآن مجرد مجموعة من التصورات المجزأة. ومن هنا، يحق لنا أن نتوقع أن هذا الكم الهائل من

البيانات التجريبية عن سلوك أصغر الجسيمات قد يُثمر نظرية جديدة، ربما لا تكتفي بدمج الحركة والكهرباء، بل تقودنا نحو قانون موحد للعلم الطبيعي كله.

لذلك، يُكرّس العديد من العلماء جهودهم اليوم لصياغة نظريات في المجالات التي تفتقر إليها، وخاصة في نطاق حركة الجسيمات الدقيقة بسرعات تقترب من سرعة الضوء. فميكانيكا شرودنغر لا تصلح هنا لأن الجسيمات سريعة جدًا، بينما نظرية أينشتاين لا تنجح لأنها خفيفة للغاية.

حتى الآن، لم تتحقق إنجازات كبيرة في هذا المجال، ولكن المهمة بلا شك ليست سهلة. فالنظرية القادمة يجب أن تفسّر لماذا تُنتج التجارب هذا العدد من الجسيمات الأولية؛ ولماذا كتلة كل جسيم تكون بمقدار محدد، لا أكثر ولا أقل؛ ولماذا شحنة الجسيم تساوي شحنة الإلكترون وتختلف عنها فقط في الإشارة، وغير ذلك. باختصار: يجب أن تُجيب النظرية عن السؤال: لماذا عالم الجسيمات الأولية هو على ما هو عليه، وليس بشكل آخر؟ هذه الإجابة يجب أن تنبع من قانون موحد للطبيعة.

هذا القانون يبحث عنه باحثون من ذوي الحس الرياضي العميق، يسعون إلى معادلات جميلة ومتوازنة. كما يسعى إليه فيزيائيون غير مكترثين بالجمال الرياضي، بل يركّزون على النجاح في تنقية جبال من البيانات التجريبية، التي تم جمعها

من شتى أنحاء العالم بواسطة أدوات ضخمة وخيالية، باهظة الثمن وقادرة على تسريع الجسيمات بطاقة خارقة، وذلك من خلال مصفاة التحليل النظري.

والجدير بالذكر أن هذه الجهود مبررة تمامًا، فالثمن هو اكتشاف قانون جديد عظيم للطبيعة، قانون قد يُحدث ثورة جديدة في فهمنا للعالم.

الفصل العاشر: الكيمياء

...وفيه يُمازح الكاتب أصدقاءه من الكيميائيين، ويتحدّى جانبًا مهمًا من عملهم، مُدّعيًا أن على الكيميائيين أن يصنعوا أكبر عدد ممكن من المواد الجيدة المختلفة.

أطلب الإذن لبدء هذا الفصل بمثال بسيط جدًّا: تجربة كيميائية منزلية تُجرى على مائدة الطعام.

قطعة من السكر الأبيض تُلقى في كوب من الشاي الساخن فتختفي أمام أعيننا. فهي تتفكك إلى جزيئات، ممثّلات دقيقة للمادة. ويتكوّن جزيء السكر من ثلاثة أنواع من الذرات: الكربون، والأكسجين، والهيدروجين. وهي ترتّب في نمطٍ فراغيّ معيّن، ليس من السهل تمثيله بالرسم. ويمكن للطبيعة أن تستخدم هذه الذرات نفسها لتشكيل جزيئات جديدة، تُكوّن مادة تختلف عن السكر في الطعم والخصائص. ليس كل ترتيب ممكنًا.

ويرجع ذلك إلى خاصية تمتلكها الذرات تُدعى "التكافؤ"، وهي التي تحدّد عدد الذرات الأخرى التي يمكن للذرة أن ترتبط بها كيميائيًّا. فذرة الكربون لها تكافؤ أربع، والأكسجين اثنان، والهيدروجين واحد.

ورغم أن حرية الذرات في الترابط محدودة، إلا أن الإمكانيات المتاحة لتشكيل جزيئات مختلفة من نفس الذرات (وتُسمّى هذه الجزيئات "متشاكلات") عظيمة جدًّا. فمثلًا، يمكن ترتيب جزيء يحتوي على عشرين ذرة كربون بنحو نصف مليون طريقة مختلفة. أي أن هناك هذا العدد من المواد المختلفة ذات التركيب الذري نفسه.

وإذا تذكّرنا أن هناك نحو مئة ذرة طبيعية، فستبدو لنا تنوّعات الجزيئات غير محدودة.

المواد التي تتكوّن من نوع واحد من الجزيئات قليلة الوجود في الطبيعة؛ فعادة ما نتعامل مع خلطات. وأحد مهام الكيمياء هو تحليل هذه الخلطات إلى جزيئاتها المختلفة وفصلها إلى مواد نقية، كل منها يحتوي على نوع واحد من الجزيئات.

لكن المهمة الأساسية للكيمياء هي إنتاج مواد جديدة لا وجود لها في الطبيعة أو نادرة الوجود.

وتعتمد إمكانية صنع مواد جديدة على حقيقة أن بعض الجزيئات حين تصطدم تفضّل أن تنفصل وتُعيد ترتيب نفسها. تخيّل شخصَين التقيا؛ أحدهما قصير ويرتدي معطفًا ضخمًا، والآخر طويل ومعطفه ضيق وممزّق. من الطبيعي أن يتبادلا المعاطف وينصرفا وقد استفادا. وبهذا المنطق، فإن فائدة

إعادة ترتيب الجزيئات عند التصادم تكمن في أن الذرات الجديدة ترتّبت بطريقة أكثر ملاءمة.

ومن خلال خلط أنواع مختلفة من الجزيئات وجعلها تتصادم، يصنع الكيميائيون جزيئات جديدة، أي أنهم يصنعون مواد جديدة. وهناك وسائل كثيرة لذلك: يمكن خلط الغازات أو السوائل، أو إذابة مواد مختلفة في مذيب مشترك.

وقد تسارعت عملية تصنيع الجزيئات الجديدة في القرن التاسع عشر، حتى وصل عدد المواد التي أنتجها الكيميائيون إلى نحو مليون مركب صنعي. وبالطبع، لا تُستخدم إلا نسبة ضئيلة منها عمليًّا. ومع ذلك، فإن هذا العمل لم يكن عبثًا. فالكيميائيون، من خلال إنتاجهم لمواد جديدة، اكتشفوا أيضًا القواعد التي تحكم عمليات إعادة التركيب، وحدّدوا الطرق الأفضل والأقصر لتشكيل الجزيئات ذات البنية المخططة مسبقًا.

قدرة الكيميائي على تفكيك الجزيء عند روابط محدّدة وربط الأجزاء بطريقة معينة تدهش غير المختص. وغالبًا ما سألت كيميائيًّا: "هل يمكن جمع الذرات بهذه الطريقة؟" وبعد لحظة تفكير، يأتي الجواب: "نعم، هذا بسيط ويمكن إنجازه في مرحلتين أو ثلاث"، أو "نعم، ولكنه تركيب صعب". نادرًا ما كان إنتاج التركيب المطلوب أمرًا غير واضح.

ويتعقّد عمل الكيميائي أكثر، لأنه لا يكفي إنتاج المادة الجديدة، بل يجب إثبات أن لها التركيب الذي تم التخطيط له. وقد كوّنت فكرة أن الكيميائي الجاد يقضي وقتًا أطول في إثبات التركيب مقارنةً بصناعة المادة نفسها. ويُثبت التركيب أيضًا بالطرق الكيميائية. فالتفكير المعتاد هو: "إذا كان التركيب صحيحًا، فإن التفاعل مع مادة معينة يجب أن يُنتج مادة كذا؛ وإذا لم يحدث ذلك – فالمادة ليست كما يُراد". ويجب إجراء سلسلة من هذه الاختبارات. وعند الانتهاء من إجراءات التحقق الصارمة، يمكن الإعلان في مجلة علمية أن قائمة المركّبات التي تضم مليون مادة قد تم توسيعها بإضافة "المركب رقم مليون وواحد."

تُعنى الغالبية من الكيميائيين بدراسة قوانين التفاعلات الكيميائية. والبعض الآخر يعمل في التطبيق العملي. وعادةً، يدخل هؤلاء المختبرات بهدف إجراء سلسلة من التركيبات، يأملون أن ينتج عنها مواد ذات أهمية تطبيقية. وتُعنى الكيمياء التطبيقية أيضًا بمشاكل تنقية المواد، وتحديد أرخص وسائل الإنتاج.

ويُعدّ تقدم الكيمياء، بدرجة أكبر حتى من بعض العلوم الأخرى، أمرًا لا يُمكن تصوّره دون مساهمات منهجية من الكيميائيين التطبيقيين. والسبب أن النظرية لم تصل بعد إلى مرحلة يمكن فيها أن تُحدّد بدقة نوع الجزيء المطلوب لإنتاج

مادة ذات خصائص استثنائية. ولهذا كثيرًا ما تأتي الكيمياء التطبيقية باكتشافات مدهشة جديدة.

وتُعتبر إنجازات الكيمياء في العقود الأخيرة مثيرة للإعجاب. يكفي أن نذكر المطاط الصناعي والألياف الاصطناعية. أو أن نُشير إلى صناعة الأدوية: فالأدوية الفائقة التي غيّرت وجه الطب هي من عمل الكيميائيين التركيبيين.

والميل نحو استبدال المواد الطبيعية بمركّبات مصنوعة يتزايد. فالكيمياء اليوم تُزوّدنا بالأحذية والملابس؛ ولا يبدو أن الوقت بعيد حين نستبدل شرائح اللحم الطبيعية بأطعمة ربما تكون أقل لذة (في البداية!) لكنها تُصنع من مشتقّات النفط.

وقد وضعت بلادنا هدفًا مهمًّا هو تسريع تطوير الكيمياء وصناعتها. ويمكن تحقيق ذلك أحيانًا فقط بزيادة إنتاج المنتجات المصنعة وفق وصفات تقنية معروفة. لكن هذا لا يكفي. فعلى الكيميائيين أن يعملوا باستمرار لإنتاج ألياف صناعية أقوى، وأسمدة أفضل، ومبيدات تكون قاتلة تمامًا للآفات وآمنة للبشر والحيوانات المفيدة. وللنهوض بالكيمياء، لا يكفي التركيز على التكنولوجيا، بل يجب أن يُوجّه الانتباه إلى الكيمياء التركيبية. ففي النصف الثاني من القرن العشرين، لا يمكن تحقيق نجاحها إلا بدعم شامل من كل علوم الطبيعة.

حتى العقود الثلاثة الأخيرة، كانت الكيمياء مجالًا مغلقًا من مجالات العلوم الطبيعية، له منهجه الخاص وقواعده التجريبية. لكن بعد ذلك، تقدّمت الفيزياء بسرعة، واستحوذت على مواقع جديدة، واكتشفت القوانين التي تحكم ترتيب الذرات والجزيئات، وقوانين حركة وتفاعل الإلكترونات والذرات. ومن الطبيعي أن تبدأ هذه القوانين بالتوغل داخل الكيمياء.

أصبح واضحًا أنه لا وجود لما يُسمّى "قوانين كيميائية خاصة"، أو "مواد كيميائية خالصة". فالقوانين العامة لحركة وتفاعل الذرات والإلكترونات هي التي تُحدّد خصائص المادة، وهي التي تحكم تفكّك الجزيئات وتركيبها في التفاعلات الكيميائية. وإذا كان الأمر كذلك، فإن القوانين التجريبية التي جمعها الكيميائيون لا بد أن تكون لها تفسيرات عامة، وأن تكون حالات خاصة ناتجة من القوانين الكونية العامة. ولهذا، لا بد أن يكون للكيمياء أساس فيزيائي عام.

وقد بدأ هذا العمل قبل نحو ثلاثين عامًا، وهو الآن في أوجه، ويُنتج نتائج ملموسة.

لكن المشكلات النظرية في الكيمياء معقّدة للغاية. تأمّل معي: الجزيء حين يصطدم بآخر قد يصطدم به وجهًا لوجه، أو من

الجوانب، أو من الخلف. وكل من هذه الحالات قد يؤدي إلى نتائج مختلفة. هذه أول مشكلة.

وقد تحتاج عملية إعادة تركيب الجزيء إلى عدة مراحل. لذلك، لا يُؤخذ في الاعتبار فقط تصادم الجزيئات الأصلية، بل أيضًا تصادم الأجزاء الناتجة. وهذه ثاني مشكلة.

أما تفكّك الجزيء أو أجزائه فقد يحدث بطرق مختلفة: فقد ينتقل إلكترون زائد من جزء إلى آخر، وقد لا يحدث ذلك. وهذه مشكلة ثالثة.

وحتى لو افترضنا أننا نعرف كل هذا، فإن من شبه المستحيل أن نحسب نتائج التصادم رياضيًا استنادًا إلى قوانين حركة الإلكترونات. وباختصار، لا نستطيع التنبؤ بنتائج التفاعل الكيميائي انطلاقًا من القوانين الكونية العامة، رغم أننا لا نشك لحظة في أن كل شيء يحدث وفقًا لها بدقة.

فكيف نحقق بعض النجاحات الجزئية؟ يتم ذلك بطريقتَين:

الأولى هي البحث عن قوانين تجريبية تربط بين سلوك الجزيء الكيميائي وتركيبه البنيوي (وتركيبه يُحدد بطرق فيزيائية). القانون التجريبي يُستخرج من التجربة. فلو كنت مهتمًا بفئة من المواد تشمل 10 آلاف نوع، واخترت منها 100، فإنك تضع قاعدة تجريبية بناءً على سلوك هذه المئة.

ورغم أنك لا تستطيع التأكيد، إلا أنه من غير المحتمل ألا تنطبق القاعدة على الأنواع الأخرى.

وعادةً ما تكون القاعدة صحيحة، وإذا ظهرت استثناءات فإنها تُشير إلى الحاجة إلى دراسة أعمق للقانون.

وطبعًا، فإن البحث عن القوانين التجريبية يتطلب دراسات واسعة وشاملة.

أما الطريقة الثانية، فهي إنشاء نماذج افتراضية للجزيئات، واستخدامها لتحليل مراحل معينة من التفاعل – حتى لو لم يتم تحليل كامل التفاعل، أو جميع الخصائص، فيكفي استخراج واحدة. وسأذكر مثالًا واحدًا على الإنجازات التي تحققت في الكيمياء من خلال المدخل الفيزيائي: لقد أصبح الفيزيائيون قادرين على قياس حجم الذرات، ولهذا يمكن تمثيل الجزيء في نموذج ثلاثي الأبعاد. وعندها، يظهر أن بعض الذرات مدفونة في قلب الجزيء، ولا يمكن الوصول إليها. فإذا أراد الكيميائي أن يُحدث تفاعلًا بين تلك الذرة الداخلية وذرة من جزيء آخر، فإنه يعلم مسبقًا أن الأمر مستحيل. وهذا تنبؤ، وإن كان سلبيًا، إلا أنه ذو قيمة عالية. ورغم أنه نجاح جزئي، فإن له أهمية، إذ إن العملية الكيميائية لا تعتمد فقط على مواضع الذرات داخل الجزيء، بل على عوامل كثيرة أخرى،

وتركيبة الجزيء الهندسية ليست سوى عنصر واحد من بين عدة عناصر مؤثرة.

ومن الإنجازات الأخرى، القدرة على التنبؤ بلون المادة. فالكيميائيون المختصون بصناعة الأصباغ يستخدمون قوانين عامة تربط اللون بوجود مجموعات معينة من الذرات داخل الجزيء.

ويُطلق على الكيميائيين المهتمين بالنظرية غالبًا لقب "الكيميائيين الفيزيائيين"، أما من وجهة نظري، فهم مجرد فيزيائيين يدرسون العمليات الكيميائية. فهم يستخدمون طرقًا فيزيائية، وينطلقون في صياغاتهم من قوانين الفيزياء، ويُفكّرون بنفس الطريقة التي يُفكّر بها الفيزيائيون الذين لا يهتمون أساسًا بالتحولات الكيميائية.

وبالطبع، المسألة ليست مسألة تسميات؛ لكن بالنسبة لي، فإن كل من يُساهم في بناء أسس العلوم الطبيعية ينتمي إلى نفس المجموعة.

ويخلق غياب نظرية متكاملة ظروفًا مشجّعة لظهور أنواع مختلفة من "الانحرافات" الضارة بالعلم.

فقد ظهرت فئة من المتشككين العمليين الذين يقولون إننا لا نحتاج إلى نظريات، وإن المهم هو إنتاج مواد جديدة وتطبيقها عمليًا. وهذا التفكير ينشأ أساسًا من الجهل المغرور بالنفس.

فالدراسة المتأنيّة لأحدث إنجازات الكيمياء تُثبت بوضوح أن الكثير من المواد الجديدة والمذهلة ما كانت لتُصنع لولا التقدّم في الكيمياء النظرية. ويمكن التأكيد أيضًا أنه لولا استخدام المفاهيم النظرية، لكان إنتاج المواد الجديدة يتطلّب وقتًا أطول بكثير.

وقد رُويت لي قصة في كييف عن معهدين كانا يعملان على نفس المشكلات تقريبًا. نجح أحدهما، وفشل الآخر. فمدير المعهد الناجح سمح لأكثر من نصف موظفيه بالعمل في البحوث النظرية، وكان تأثير هؤلاء على زملائهم في القسم التطبيقي ممتازًا. وكانت أعمال المعهد، كما يقولون، على مستوى نظري راقٍ. أما المدير الآخر، فكان متشككًا عمليًّا، ولم يسمح لأي من موظفيه بالعمل النظري. وقد أدى غياب الاهتمام بالنظرية إلى تراجع الإنجازات العملية.

وهناك خطر آخر يتمثل في ظهور نظريات زائفة من أشخاص يرفضون دراسة منجزات العلم النظري أو الاعتراف بأن الفيزياء هي الأساس العام للعلوم الطبيعية.

ومثل هذا المنظّر لا يختلف كثيرًا عن مخترعي "الحركة الدائمة" الذين تحدّثنا عنهم في الفصل السابق. فهو غالبًا يكون تقنيًا أو متخصصًا جيدًا، يملك خبرة عملية واسعة، ويجيد استخدام الصيغ الكيميائية، ويساعده فهمه التفاعلي على صياغة أمثلة تدعم أفكاره. وقد تبدو أفكاره أكاديمية جدًا،

تحتوي على مصطلحات جديدة، ورموز جذّابة، وتعابير صارمة وغامضة. وغالبًا ما يطرح أفكاره بحماسة كبيرة، ويتحدث بلهجة حاسمة، ويستخدم أسلوبًا قطعيًا لإسكات أي اعتراض. وعيناه المتوهجتان غالبًا ما تمنعانك من فضح الطابع التعسفي لأفكاره أو الثغرات في منطقه. ثم، ما أهمية المنطق بالنسبة لـ"عبقري" كهذا؟

ولا توجد طريقة لمواجهة "عبقري كهذا" أفضل من افتراض أنه على حق. عندها تُذكّره بأن العلامة الفارقة لأي نظرية هي قدرتها على التنبؤ، وتسأله: "ما التفاعل الذي يمكنك التنبؤ به؟ وما الظاهرة الجديدة التي يمكنك استباقها؟" ولن تحصل على إجابة، فصاحب النظرية لا يستخدم منطقه "الملهم" إلا لإثبات أمور معروفة سلفًا.

وفي الكيمياء – كما في غيرها من المجالات – يزعم ممثلو "العلم الزائف" أنهم ثوّار، ويلجأون إلى مزايدات سياسية لإسكات أي اعتراض محتمل. وللأسف، ما زلنا نُصادف أمثالهم، ونُجبر على قراءة "أعمالهم."

وهناك فئة أخرى من الأكاديميين في الكيمياء. قد يمتلكون معرفة جيدة، وقد يُندّدون بشدّة بـ"العلم الزائف" الذي يتجاهل قوانين الطبيعة، ويستخدمون أساليب علمية في عملهم، ولكنهم يُنتجون أعمالًا بلا قيمة لأنهم يتجاهلون أحد المبادئ الأساسية للتفكير الفيزيائي. ومن المبادئ التي يخالفها الكيميائيون

النظريون – للأسف – كثيرًا، هو الوقوع في "الحسابات غير المجدية". وهي الحسابات التي تأخذ وقتًا وجهدًا كبيرين دون أن تُنتج قاعدة جديدة للتنبؤ أو تفتح أفقًا علميًا، بل تُستخدم فقط لتفسير تفاصيل تم إثباتها عمليًا من قبل.

يمكننا من الناحية النفسية أن نفهم لماذا يحبّ الناس هذه الحسابات. فالكيميائي الذي يُركّب المواد يرغب دومًا في معرفة السبب وراء أن التفاعل الذي اكتشفه يسير في هذا الاتجاه وليس في اتجاه آخر. وهو دائمًا ممتن للمنظّر الذي يأتي إلى مختبره محمّلًا بأوراق مليئة بالمعادلات الثقيلة وأرقام من سبعة خانات، ويعلن بحزم:

"هذا التفاعل يسير في هذا الاتجاه، لا غيره، لسبب بسيط: الذرة سهلة الانفصال ترتبط بروابط ضعيفة مع بقية الجزيء".

ينبهر الكيميائي التطبيقي، ويصافح المنظّر الذي توصّل للحقيقة بعد ليالٍ بلا نوم، ثم ينطلق إلى عمله: إذ عليه أن يُجري مئات التجارب ليعرف كيف يسير التفاعل مع مواد أخرى.

حدث مرة أنني حضرت مباراة ملاكمة. رجال ضخام يتبادلون الضربات، الجرس يُقرع، الحكم يرفع يد أحدهم

ويُعلنه فائزًا. ثم يدخل الثنائي التالي. حاولت أن أتنبأ بمن سيفوز، لكن غالبًا ما أخطأت.

وفي حالة يأس، توجهت بنظري إلى الجمهور. يبدو أن كثيرًا منهم كانوا مشجعين يعرفون الفرق بين الضربة القاضية والطرح أرضًا. لكن أيضًا كان هناك متفرجون بالصدفة، مثلي. جلس أحدهم إلى جواري، وبعد كل جولة كان يسأل:

"لماذا فاز هذا؟"

وقد قرّرت أن التنبؤ أمر مستحيل، فصرت أرد عليه بثقة: "الأمر واضح: الفائز أطول ذراعًا".

ثم مع الجولة التالية: "هل ترى؟ الفائز أطول قامة".

وفي الجولة الثالثة، كان الفائز رياضيًا قويًا، قصيرًا، بذراعين قصيرين. تردّد جاري وقال بخجل إن هذا يبدو مناقضًا لكلامي السابق.

فقاطعته بحزم:

"ألا تفهم؟ رغم أنه أقصر، إلا أنه أثقل وزنًا".

شعرت بالنشوة، ولم أشك لحظة في قدرتي على تقديم تفسيرات منطقية لكل نتيجة... بعد أن تكون المباراة قد انتهت، طبعًا. وبينما كنت أنظر في القاعة، لمحت روحًا

ترفرف فوق الجماهير – كانت روح كيميائي نظري أعرفه جيدًا – وبدت على وجهه علامة رضا.

في النهاية، لا تخلو أي جماعة من شوادّها. لكن ليس هؤلاء هم من يُحدّد المشهد. فبناء الأساس الراسخ للكيمياء مستمر.

الفصل الحادي عشر: علم الأحياء

يتضمن هذا الفصل قولًا بأن علماء الأحياء لا يمكنهم الاستغناء عن الفيزيائيين. كما يعرب الكاتب عن أسفه لعدم تفرغه في زمنه لدراسة مسألة وراثية بالغة الإثارة.

لقد بدأت الفيزياء تتبوأ مكانة قيادية في علم الأحياء، لكن ليس معنى ذلك أن الفيزياء تغزو علم الأحياء وتزيح علمائه، بل إن العلم المعروف باسم "علم الأحياء" بدأ يتحوّل إلى الفيزياء، مؤكّدًا بذلك أن العلوم الطبيعية تمر بمرحلة إعادة بناء على أساس موحد.

وقد جرت هذه العملية تدريجيًا، حيث نشأت منذ زمن منطقة علمية وسيطة تُعرف بـ "الفيزياء البيولوجية"، ظهرت على الحدود الفاصلة بين الفيزياء والأحياء، واستخدمت أدوات الفيزياء وأساليبها لدراسة الظواهر البيولوجية من منظور بيولوجي بحت.

لكن التغير الحقيقي بدأ في العقود الأخيرة، حين أصبح من الممكن مناقشة الظواهر البيولوجية على المستوى الجزيئي، وتمددت قوانين الفيزياء التي تحكم سلوك الذرات والجزيئات لتشمل المادة الحية.

علاقات التعاون بين علماء الأحياء والفيزياء بدأت منذ زمن. مثلًا، تم تأسيس "معهد الطب التجريبي" في أوائل الثلاثينيات، وكان يضم أقسامًا للفيزياء الحيوية والفوتوبيولوجيا والكيمياء الفيزيائية البيولوجية، يعمل فيها عدد من الفيزيائيين، لكن دورهم كان ثانويًا. فالعلماء كانوا يتشاورون مع الفيزيائيين حول استخدام أدواتهم، لكنهم ظلوا جيرانًا أكثر منهم شركاء.

بعد الحرب، انطلقت الفيزياء البيولوجية في أكاديمية العلوم، وتغيرت طبيعة الأسئلة المطروحة من قبل علماء الأحياء، إذ بدأ الباحثون في طرح مسائل بنيوية معقّدة. وأظهر التحليل بالأشعة السينية ترتيب الذرات داخل الجزيئات المشاركة في العمليات الحيوية. وبدأت دراسة الجزيئات البروتينية – وهي بمثابة "لبنات الحياة" – بدايةً بتحديد حجمها، ثم شكلها، وصولًا إلى بنيتها الداخلية.

وتقدّم المجهر الإلكتروني بسرعة هائلة، فزادت قدرة التكبير من الآلاف إلى مئات الآلاف من الأضعاف. واستُخدمت الخلايا وأجزاؤها كعينات، وباتت الفيروسات تُكشف شيئًا فشيئًا، وأمكن رؤية الجزيئات الكبرى التي تتكون منها.

طبيعي أن يهتم علماء الأحياء بهذه التطورات، رغم أن نتائجها كانت تصدر عن فيزيائيين، وكان على علماء الأحياء

أن يتعلموا "لغة جديدة". فطلب مني عدد منهم شرح بعض الأمور، رغم أنها خارج تخصصي.

بدعوة من غليب فرانك، حضرت محاضرة للبروفيسور الإنجليزي ماكس بيروتز – سواء قبل أو بعد حصوله على جائزة نوبل عن عمله المذهل في رسم خارطة دقيقة لبنية جزيء بروتين. وكان بيروتز قد قضى 25 عامًا في هذا المشروع الهائل.

خلال المحاضرة، قدّم الرجل المتواضع والمركّز شرحًا عمليًا أذهل الحضور، إذ كانت مهمته تحديد ترتيب الوحدات البنيوية، والتلافيف والانحناءات التي تربط بينها داخل الجزيء الذي يحتوي على 574 وحدة. شبّهت هذه المهمة بمتاهة معقدة داخل هرم خوفو، وعليك أن تصفها بدقة دون أن تفتحه، بل باستخدام وسائل غير مباشرة مثل الصوت والأشعة السينية.

اللافت أن بيروتز استخدم تقنيات طُوّرت لدراسة مواد غير حية كملح الصخور والكالسيت والنفثالين، وتبيّن في نهاية المطاف أن قوانين التركيب الذري للجزيئات البيولوجية لا تختلف عن تلك الخاصة بالمادة غير الحية – من حيث المسافات بين الذرات، وترتيب الجزيئات، وحتى التراص وفق نماذج البلورات البسيطة.

وقد عزز هذا الاكتشاف مبدأ الاستمرارية العلمية، إذ فجأة بات علم البلورات، الذي بدا بعيدًا عن الأحياء، أساسيًا لفهم البروتينات. وتزايدت الثقة بأن العمليات الحيوية أيضًا تُفسَّر بقوانين الاندماج والانفصال الجزيئي، تمامًا كما هو الحال في الفيزياء.

وهكذا لم يعد هناك مكان لما يُسمى بـ "المادة البيولوجية الخاصة"، بل أصبح بإمكان الباحثين تشييد أسس فيزيائية متينة لعلم الأحياء.

وفي هذا السياق، دعاني صديق بيولوجي إلى مناقشة مسألة الحموض النووية:

قال لي: "لماذا لا تدرس الحموض النووية؟ "سألته: "ما هي؟ " رد: "هل سمعت بـDNA ؟ "قلت: "بشكل سطحي ".قال: "يُعتقد أن جزيء DNA يحتوي على سر نشاط الخلية".

سألته إن كان هذا الجزيء هو نواة الخلية، فأوضح: "لا، هو جزء من النواة. أرى أن معرفتك محدودة نوعًا ما".

أجبته: "ربما، فساعدني في فهمها ".بدأ بشرح أساسيات البيولوجيا، لكني قاطعته قائلاً: "دعنا نتجاوز الحروف الأبجدية، فأنا أعلم أن أجسادنا تتكوّن من خلايا، والصحف ذكّرتنا مؤخرًا بمقولة فيرشو الشهيرة omnis cellula e :

– cellulaأي أن كل خلية تنحدر من خلية سابقة. وأعرف أن هناك أنواعًا مختلفة من الخلايا: عضلية، دماغية، كبدية"...

رد عليّ قائلاً: "علينا بدلًا من ذلك أن ننظر لما تشترك فيه كل هذه الخلايا".

فقلت: "وهو؟"

قال: "كل الخلايا تشبه كبسولة صغيرة مملوءة بسائل، يتضمن أنواعًا مختلفة من الجزيئات والتركيبات التي تشكّل بنى مذهلة. وما زلنا بعيدين عن فهم وظائفها بدقة، لكن من الواضح أن الخلية مصنع صغير يتلقى أوامر تشغيل من الجسم عبر الجزيئات أو إشارات الجهاز العصبي".

فقلت: "لكن المصنع يحتاج طاقة"!

قال: "أكيد، وتتلقى الخلية طاقتها من الغذاء أو الطاقة الشمسية".

سألته: "هل تعرف كيف يتم ذلك؟ "قال: "المسارات العامة معروفة، لكن ما يهمنا الآن هو أن الطاقة تُمكّن الخلية من تنفيذ الأوامر وأداء أنشطة مختلفة: ميكانيكية، كيميائية، كهربائية".

قلت: "وعقلية؟ "قال: "طبعًا. فجميع العمليات الحيوية داخل الجسم هي نتاج التفاعل الجماعي لمليارات الخلايا".

واعترفت: "لا أظن أنني أفهم كل هذا أكثر من فهمي لسطحه".

ضحك عالم الأحياء وقال" :ما زلنا بعيدين عن فهم آليات معظم العمليات الحية، لكن علم الأحياء حقق تقدمًا ملحوظًا في اكتشاف بعض القوانين العامة. ومن أهمها أن الوظيفة الأساسية للخلية هي إنتاج أنواع متعددة من جزيئات البروتين".

قلت له: "قرأت في مكان ما عن التنوع اللامحدود لجزيئات البروتين ".قال: "هذا غير دقيق تمامًا. صحيح أن الخلية تُنتج أنواعًا من الجزيئات أكثر من أنواع الأزرار التي تُنتجها أيّ مصنع، لكن هذا التنوع محدد للغاية. فالخلية تعمل وفق عدد من المخططات الجاهزة. وفي السنوات الأخيرة اكتشفنا 'المُصمم الرئيسي' لهذا المصنع. إنه جزيء خاص يُعرف اختصارًا بالحمض النووي الوراثي".

سألته: "وما اسمه الكامل؟ "قال: "الحمض النووي المنزوع الأوكسجين والرايبوز ".قلت: "أفضل استخدام الاسم المختصر. فماذا اكتُشف؟ "قال: "سأشرح لك. 'إدارة المصنع' موجودة في ما يُسمى بالنواة. هذا الجزيء طويل جدًا، ومن خصائصه المهمة أنه يتكون من أربعة أنواع مختلفة من اللبنات الأساسية. سأُبسّط الأمور، ويمكنك التعمق في

التفاصيل لاحقًا. ما يهم الآن هو جوهر الاكتشاف. هذه اللبنات مرتبة وفق نمط شديد التعقيد. والمعلومة الأساسية هنا أن خطط التشغيل المتنوعة للخلية، والتي تنتقل دون تغيير من خلية إلى أخرى خلال الانقسامات المتكررة، مشفّرة في هذا الترتيب المحدد لتلك اللبنات".

قلت له: "كل هذا جيد، ولكن ما علاقة ذلك بإنتاج هذا الكم الهائل من جزيئات البروتين المتنوعة؟ "قال: "ومن أخبرك أن جزيئات البروتين متنوعة بلا نهاية؟ "قلت: "أعتقد أنني قرأت ذلك ".قال: "من وجهة نظر معينة هذا صحيح، ولكن الأمر المذهل هو أن جميع جزيئات البروتين تتكون من عشرين وحدة فقط. نعم، فقط عشرين! وبترتيب هذه الوحدات بطرق مختلفة نحصل على الثروة اللامحدودة من الجزيئات التي تناسب كل متطلبات الحياة وأذواقها".

قلت له: "حدثني أكثر عن كيفية إنتاج البروتين. لقد أثرت فضولي ".قال: "هل تعرف القالب الذي يستخدمه الطابع في الطباعة؟ "قلت: "بالطبع ".قال: "تخيل أنك صببت كل سطر على حدة. وإذا حاولت تركيب أحد هذه الأسطر في القالب، بحيث يتطابق كل جزء بارز مع الفراغ المقابل له، فلن تتمكن من ذلك إلا بوضع السطر في مكانه الصحيح ".قلت: "أمر بديهي ".قال: "إن جزيء الحمض النووي يعمل بطريقة مشابهة تمامًا للقالب. يستخدم أبجدية من أربعة رموز وله

عشرون سطرًا. والجزيء الذي يلعب دور السطر في هذا التمثيل المبسط هو جزيء آخر يُنتَج داخل الخلية".

قلت له: "لا تذكر لي اسمه الكامل، تابع فقط ".قال: "هذا الجزيء الأول (الحمض النووي) يوجد في وسط يحتوي على كميات كافية من اللبنات الأربع المختلفة. يبدأ بصنع الأسطر، أي ينتج جزيئات خاصة تقوم بدور السطور".

قلت له: "تتحدث وكأنها عملية طباعة فعلية، لكنها بالتأكيد عملية كيميائية معقدة ".قال: "سعيد أنك تدرك ذلك. أنا أتجاوز الجوانب الكيميائية وأركز فقط على البنية. كل سطر هو جزيء متخصص قادر على حمل إحدى اللبنات الأساسية للبروتين. وعندما تصبح هذه الجزيئات جاهزة، تبدأ في البحث عن اللبنات الخاصة بها وتأخذها نحو جزيء الحمض النووي (أبسط الأمور، ولكن المبدأ صحيح)، ثم يجد كل سطر مكانه، وتُرتَّب اللبنات لتكوّن جزيء بروتين جديد".

قلت له: "لكن يجب إنتاج أنواع متعددة من البروتينات "!قال: "صحيح تمامًا، ويمكنك تصور جزيء الحمض النووي على أنه ليس ورقة قالب واحدة، بل مجموعة كاملة من الأوراق، كل منها مختصة بإنتاج نوع معين من البروتين".

قلت له: "هذا مذهل! تخيّل عملية كيميائية بهذا التعقيد تحدث من تلقاء نفسها! هذا رائع. أفكر أن التقنية الحالية لا تستطيع

حتى تصنيع نوع واحد من البروتين بشكل آلي. ولكننا هنا أمام نظام دقيق في كائن حي وعلى مستوى مجهري، يقوم بتنفيذ التعليمات بكفاءة. إنه يُشبه القصص الخيالية".

قال: "مهمتك أن تدرس هذه الظواهر وتُثبت أنه لا يوجد فيها شيء خارق للطبيعة، وأن سلوك هذه الجزيئات يخضع لنفس القوانين التي تتحكم في الأنظمة البسيطة غير الحية".

قلت له: "أخشى أنني أصبحت كبيرًا في السن لأغيّر تخصصي ".قال: "هذا موضوع آخر، الأمر متروك لك. أردت فقط أن أرسم لك صورة عن الوضع الحالي في علم الأحياء".

ثم ودّعني عالم الأحياء وغادر، وتركني ألوم نفسي لأنني لم أبدأ دراسة هذه القضايا منذ عشر أو خمس عشرة سنة. فلقد ثبت بعدها أن الأفكار المتعلقة بسلوك الجزيئات العضوية - وهي أفكار كنت أعرفها، وشاركت أحيانًا في تطويرها - يمكن تطبيقها على العمليات المعقدة التي تحدث داخل الخلية الحية. القوانين نفسها، القواعد نفسها، والأساس نفسه الذي تستند إليه جميع العلوم الطبيعية.

في الواقع، كنتُ قد اكتشفت في الأربعينيات الصفة الأساسية لهذه العملية، وهي قدرة الجزيئات على التلاؤم بحيث تتناسب نتوءات جزيء ما مع أخاديد الآخر، كخاصية رئيسية لجميع

البلورات العضوية. وفي الأنظمة المعقدة، اتضح أن هذا القانون ينطبق ليس فقط من ناحية النوع، بل أيضًا بنفس العلاقات الهندسية الدقيقة التي تميز البلورات البسيطة.

اليوم يُولى اهتمام كبير لجانب الطاقة في هذا الأمر. وقد أُثبت أن هذه العمليات العجيبة تحدث وفقًا التامّ لقانون حفظ الطاقة. فالطاقة المطلوبة لنقل وبناء الجزيئات تُوفرها الشمس أو الطعام. لذا، فإن التعقيد الأكبر في التصادمات، والانفصال، والاندماج بين الجزيئات مقارنة بالتفاعلات الكيميائية البسيطة هو تعقيد كميّ فقط.

لا يزال علم الأحياء الجزيئي يحمل من الأسرار أكثر مما كشفه من الحقائق. ومع ذلك، فإن ما نعرفه يؤكد بما لا يدع مجالًا للشك أن القوانين الفيزيائية التي تنطبق على جميع الجسيمات التي تُكوّن الكون تُشكّل أساس العمليات الحية الأكثر تعقيدًا.

هذا هو كل ما أردت أن أشير إليه.

الفصل الثاني عشر: علم النفس

...وهو الفصل الذي قد يثير استياء القارئ، إذ يرى المؤلف فيه أنه لا يوجد فرق جوهري بين دراسة حركة الجسيمات الأولية والطموحات الروحية للإنسان.

من المؤلم قليلًا للذات أن يُقال لك إنك مجرد مسمار صغير في آلة ضخمة. ربما المقارنة بجزء أكبر أو بالآلة كلها كانت لتكون أقل إذلالًا؟ أغلب الناس، بلا شك، يشعرون بالإهانة إذا شُبّهوا بقطعة معدنية، مهما كانت دقيقة أو معقدة. هذا التشبيه ليس امتداحًا بأي حال... لكن في القرن العشرين، الناس يبدون انبهارًا بأشكال الآلات الانسيابية وأدائها البارع. من وجهة نظري، فإن الإطراء الذي يقول "جميل كالصاروخ" أو "ذكي كالحاسوب" يبدو منطقيًا.

ومع ذلك، عندما نُزيل المزاح جانبًا ونخبر الشخص أن لا فرق في الجوهر بين الإنسان والآلة، غالبًا ما يكون ردّه الأول هو الاعتراض. قد يوافقك على أن الآلات تحلّ المشكلات المعقدة أفضل من البشر، وأنها قادرة على تنفيذ الأوامر المربكة، لكن أن نقول إن آلة يمكن أن تتعلّم، وتُبدع، وتَشعر – وهنا يبدأ الاعتراض القوي – فهذا أمر مبالغ فيه.

يبدو الأمر مستحيلًا. كيف يُمكن قبول فكرة أن آلة قادرة على أن تُحب أو تكره، أو تُعجب بجمال الطبيعة؟ ومع ذلك، هناك عدد كبير من الباحثين (ومن بينهم المؤلف نفسه) مقتنعون بأنه لا يوجد من حيث المبدأ فرق جوهري بين الإنسان والآلة.

ليس معنى ذلك أن أحدًا يدّعي اليوم إمكانية بناء إنسان صناعي أو حتى عضلة بطول ملليمتر واحد. كما لا يهم أن طرق محاكاة معظم العمليات الحية لا تزال مغلقة أمامنا. ولا يهم أن المستقبل قد يكشف أن الظواهر الحية تنطوي على عمليات أكثر تعقيدًا ورقّة من مجرد الشحنات الكهربائية أو التفاعلات الكيميائية. ما يهم هو أن اكتشافات العقود الأخيرة أوصلت الإنسان إلى قناعة بأن جميع العمليات الحية التي نعرف آلياتها، تخضع لنفس قوانين الطبيعة التي تحكم العمليات الاصطناعية، وبالتالي يمكن نمذجتها.

لا سبب يدعو للشك بأن الإنجازات المحققة في بداية هذا الطريق ستتضاعف مستقبلًا. خصوصًا أن العلماء مقتنعون بالأساس المادي لجميع مظاهر الحياة – الجسدية والعاطفية والعقلية. نحن اليوم في موقع يسمح لنا بأن نقول بثقة: لا يوجد فرق جوهري بين الإنسان والآلة. وهذه، كما يراها الكاتب، أعظم إنجازات علم الطبيعة في القرن العشرين. فحتى الثورات الكبرى في الفيزياء تتراجع أمام هذا الكشف المذهل.

فهل هناك أعظم من اكتشافات تجعل الإنسان يُعيد تقييم نفسه؟ إنها لا تقل شأنًا عن إثبات أن الإنسان تطوّر تدريجيًا من الحيوانات البسيطة. داروين، سواء قصد ذلك أم لا، نسف فكرة الأصل الإلهي للروح البشرية. المنطق البسيط يقول: إن كانت هناك جوهرية روحية، فلا بد أنها نشأت وتطورت مع الجسد.

ومع ذلك، لطالما بدا بديهيًا أنه من المستحيل اختزال الحياة الروحية في ظواهر فيزيائية. صحيح أن التاريخ عرف فلاسفة أيّدوا الطبيعة المادية للفكر، لكنهم سبقوا عصرهم، ولم تؤهلهم تطورات العلوم الطبيعية، فبدوا فجاجًا وبلا مبررات كافية.

تفتنا اليوم بأن الحياة الروحية للإنسان يمكن اختزالها – من حيث المبدأ – إلى عمليات فيزيائية في الدماغ والجهاز العصبي، نشأت من تقدم فرعين من العلم: من جهة، تم بناء آلات أوتوماتيكية معقدة شابهت في عملها الدماغ؛ ومن جهة أخرى، تعمّق فهمنا لآليات عمل الدماغ والجهاز العصبي بشكل كبير، واتضح أنها تُشبه الآلات المصنوعة من الصمامات أو الموصّلات.

ما هذا التشابه الذي أوصلنا لهذه الاستنتاجات الجريئة؟

لكي تعمل الآلة أو الدماغ، فلا بد أن تمتلك معرفة بالحقائق والقوانين والتعليمات القابلة للتطبيق. الثروة الفكرية للبشر يمكن أن تُدوَّن من خلال أربعة وعشرين حرفًا، تُشكل كلمات، ثم جُمل. بل إن الرموز نفسها ليست ضرورية؛ فالنقطة والشرطة في شيفرة مورس تؤدي الغرض بنفس الكفاءة.

في الآلات الرقمية، تُستخدم نبضات كهربائية تُعبّر عن وجود أو غياب – أي "نقطة" أو "شرطة" – ضمن آلاف الوحدات. وبذلك تتحدد البيانات والتعليمات في كل لحظة وفق توزيع هذه الرموز في مكونات الآلة، بحيث يكون لكل عنصر حالتان فقط.

وفي الكائن الحي، العناصر الفعالة هي الخلايا العصبية، والخيوط التي تصلها تُسمى المحاور. وقد تم التثبت من أن النبضات العصبية التي تمر عبر هذه المحاور تخضع لمبدأ "الكل أو لا شيء". فجميع النبضات متشابهة، وتحمل نوعين فقط من المعلومات: "نقطة" أو "شرطة."

دراسة معمّقة لهذه الفكرة، ولو بشكل موجز، تكشف أن الجهاز العصبي بُني، من حيث المبدأ، كآلة إلكترونية رقمية.

بالطبع، لم يكن هذا التشابه العام كافيًا لقبوله. فقد بُذل الكثير لمحاكاة مظاهر التفكير بواسطة الآلات. وأكثر ما يلفت الانتباه هي الآلات القادرة على التعلّم، والتي تشمل برامجها

تعليمات لتسجيل الأخطاء وتجنّبها لاحقًا. ومن المذهل مشاهدة آلات تلعب الورق أو الدومينو أو الشطرنج. وقد كُتب الكثير عنها، ولا حاجة لتكرار ذلك.

وهناك ألعاب تعطي اللاعبين فرصًا متساوية تمامًا – مثل لعبة "كيس، حجر، مقص". هل تعرفها؟ اليد المفتوحة هي الكيس، والمقبوضة هي الحجر، والسبابة والوسطى الممتدة هي المقص. الفائز معروف: الكيس يُغطي الحجر، الحجر يُفل المقص، والمقص يقطع الكيس. كل شكل له خصم يقهره. تبدو الفرص متساوية تمامًا، لكن بعض اللاعبين دائمًا يتفوقون! كيف؟ الأمر بسيط: أغلب اللاعبين يتّبعون تكتيكًا بسيطًا، كأن يفكر: "لقد لعبت المقص، سيعتقد خصمي أنني سأغيّر الشكل، لكنني سأفاجئه وأكرر المقص مرة أخرى".

من يتنبّه لتكتيك كهذا يمكنه تحليلها سريعًا واكتساب ميزة في اللعبة. لكن ما أفضل استراتيجية؟ الغريب أن أفضل أداء يتحقق عند تجاهل أي تكتيك واعتماد العشوائية الإحصائية – أي اختيار الشكل بشكل عشوائي تمامًا.

هذه اللعبة يمكن برمجتها بسهولة، والآلة دائمًا تُثبت تفوقها. إن طال اللعب بما فيه الكفاية، فإنها ستربح في النهاية. فهي تلتقط تكتيك خصمها بسهولة، لكنها تلتزم هي بقوانين الاحتمال فقط.

يمكن تصنيع آلات، بل صُنعت بالفعل، قادرة على كتابة الشعر أو تأليف الموسيقى. بطبيعة الحال، لا بد أولًا من تعليمها كيف تفعل ذلك. حتى في عصرنا المتقدّم، تستطيع هذه الآلة أن تُدهش المعلم الذي درّبها على كتابة الشعر أو الموسيقى. ذات مرة، أراني أحد المتحمسين لشعر الآلات قصيدة بعنوان "الشمس السوداء"، وطلب مني ألا أذكر اسمه كي لا يُغضب رئيسه، لأنه استعمل آلة مخصصة لحل المعادلات المعقّدة لكتابة الشعر في فترات قصيرة من الليل. كانت الآلة مزودة بمفردات خمسة أو ستة شعراء، ووضعت لها قواعد لانتقاء الصفات بحيث تستلهم صورها من قصائد مختلفة لشعراء مختلفين. بعض نتاجاتها الشعرية كان رائعًا بحق.

هذا المتحمّس كان يعتبر الآلة مصدرًا ممتازًا لما يُشبه المواد الشعرية شبه الجاهزة. فالآلة تنتج عبارات جميلة، لكنها في الغالب لا تحمل معنًى حقيقيًا، فيقوم هو بتعديلات سريعة لتحويلها إلى شعر رمزي جاهز. صحيح أن الأمر يبدو وكأنه مزحة، لكنه يحمل احتمالًا واعدًا في المستقبل. لا شك أن الآلات يمكنها كتابة الشعر، ولا توجد حدود من حيث المبدأ لما يمكنها بلوغه من ذكاء أو روعة في تعبيراتها.

عدد الأمثلة المذهلة لاستبدال الدماغ البشري بقدرات الآلات في تزايد مستمر. ومع ذلك، فإن تبسيط المسألة ومساواة الآلة

بالإنسان، وتوقّع إنتاج دماغ بشري صناعي في القريب العاجل، سيكون أمرًا ساذجًا. فالفرق بين الدماغ والآلة ضخم. لقد استغرقت ملايين السنين من التطور لصنع هذه الآلة الرائعة: الدماغ البشري، الذي يحتوي على عدد هائل من الخلايا العصبية (يُعبّر عنها بعدد مكوّن من واحد يتبعه عشرة أصفار)، وكل ذلك داخل حجم يبلغ نحو ألف ومئتي سنتيمتر مكعب.

كل خلية عصبية تستهلك طاقة ضئيلة جدًا، لا تتجاوز جزءًا من مليار من الواط. قارن هذا بالأجهزة المصنوعة من آلاف الأنابيب الإلكترونية، فهي أكبر من الدماغ بمليارات المرات وتستهلك طاقة أكثر بنفس النسبة.

ومن الفروق المهمة بين الدماغ والآلة، قدرة الدماغ الاستثنائية على أداء العمليات المتزامنة بكفاءة. كما أن اعتماده على التبادل الوظيفي بين أجزائه يجعله أكثر موثوقية من أفضل الأجهزة الحديثة. وأخيرًا، يمتلك الدماغ قدرة تخزين تفوق نظيراتها في الآلات الحديثة بأكثر من مليون مرة، رغم أن بعض الخبراء لا يعتبرون ذلك فرقًا كبيرًا. وفي المقابل، تتفوّق الآلات بالفعل على الدماغ في ناحية واحدة: سرعتها، فهي تعمل أسرع منه بعشرة آلاف مرة.

ومع ذلك، أعتقد أن الأهم من كل ذلك هو التركيز على أوجه التشابه، وليس الاختلافات. فالمسألة ليست محاولة تصميم

إنسان صناعي – لا أرى فائدة عملية من ذلك. الهدف الفعلي هو تصميم أجهزة أوتوماتيكية تُساعد الإنسان في أعماله الذهنية. والمهم هو المبدأ: الثقة في أنه، وفق النظرة المادية، لا توجد أي موانع نظرية تمنع إمكانية تصنيع كائنات صناعية حيّة، يمكنها التكاثر والتطور، وتحمل المشاعر والإرادة والذكاء، حتى في أكثر صوره رُقيًا.

هذه الكلمات كتبها الأكاديمي المعروف كولموغوروف، وأوردتها هنا لأنها تعبّر بوضوح عن موقف يدعمه كثيرون، ويرفضه كثيرون أيضًا. من المفيد أن يحظى الرأي العلمي الجريء بدعم من شخصية علمية مرموقة.

أنا أدرك تمامًا أن بضع صفحات في كتاب، حتى لو اختُتمت بكلام لأحد أعلام المجال، لن تُقنع الجميع. فالمسألة بهذا الحجم تستحق التفكير العميق ودراسة شاملة لأحدث ما كُتب فيها.

وقبل أن أنهي هذا الفصل، أود قول بضع كلمات إضافية عن مفهوم "مشاعر الآلة". قد يبدو في البداية خياليًا تمامًا أن نقول إن آلة يمكنها أن تتأثر برؤية غروب الشمس. ولكن كثيرين يوافقون على أن آلة يمكنها أن "ترى" الغروب، كما تفعل أجهزة التلفاز.

كما أن ذاكرة الآلة يمكن تزويدها بآلاف الصور لمناظر الطبيعة، لكي تقارن بينها وبين الصورة التي تراها. ولا يمكن أيضًا الاعتراض على إمكانية برمجة معايير جمالية، مثل درجات الألوان أو تناسق الشكل، وغير ذلك. وبذلك، تستطيع الآلة تقييم ما تراه. بل يمكن تقنيًا أن تحاكي مظاهر هذا التقييم، مثل قول "يا له من منظر جميل"، أو إصدار زفرة، أو حتى دموع، أو أي تعبير عاطفي آخر.

فما الذي يتبقى إذًا؟

قد يعترض القارئ بحماس قائلًا: "وماذا عن المشاعر الداخلية؟ "ولكننا لا نعرف شيئًا عنها، وربما لن نعرف أبدًا... هل أنت حقًا تعرف شعور الشخص الذي يقف بجوارك ويُعجب بغروب الشمس؟ هنا تكمن المسألة: تعريف الحياة والذكاء لا بد أن يكون وظيفيًا. فالآلة المثالية ستُصرّ، مثل جارك، أنكما ترون الشيء ذاته وتشعران بالإعجاب ذاته.

وبعد قبول هذه الفكرة الأساسية، يجب أن نعترف أن الحياة الروحية للكائن الذكي يمكن أن تكون، ويجب أن تكون، موضوعًا للعلم الطبيعي. إنها مشكلة تحليلية، والباحث الذي يتناولها يجد نفسه في نفس موقف المهندس الذي يدرس إمكانية وآلية عمل آلة غريبة ومعقدة.

لقد أُحرز تقدم كبير في تحديد مناطق الدماغ المسؤولة عن المشاعر والسلوكيات المختلفة. وهناك أسباب وجيهة لتوقع أن يتحقق تقدم مذهل في هذا المجال في العقود القادمة. فالطبيعة هي أعظم المصممين والمبدعين. لقد صنعت في ملايين السنين آلةً لا مثيل لها في تعقيدها وكمالها.

ستُتيح لنا الدراسات المستقبلية فصل الصفات البشرية العامة – الأجزاء من هذه الآلة التي يشترك فيها جميع الناس. ونحن نعلم بالفعل أن كل "آلة" جديدة تظهر، أي كل إنسان يولد، يأتي مزوّدًا بخصائص وراثية لا حصر لها. وهو أيضًا مهيّأ لتعلّم الحقائق والقواعد المكتسبة من الحياة. فالتعليم عند الإنسان يتجلّى في عملية مستمرة لإضافة البرامج الجديدة المتعلقة بالسلوك، والذكاء، والخبرة العاطفية.

يُعتقد عمومًا أن الدوافع المادية تُعد حافزًا قويًا لتجاوز الصعوبات. لكن كيف يمكن إثبات ذلك؟

يقوم الباحثون باختيار سلسلة من المهام التي تتطلب من الشخص تركيزًا عاليًا لأدائها، ويُسهل إنجازها بالتدريب. مثلًا، يُدار قرص يحتوي عند طرفه على صفيحة معدنية صغيرة لا تتجاوز سنتيمترًا مربعًا، بسرعة دورة واحدة في الثانية. يُطلب من المشارك استخدام عصًا معدنية يضغط بها على اللوحة ويُثبّت حركة القرص لأطول فترة ممكنة. وتُعتبر

هذه العصا قطبًا كهربائيًا يُغلق دائرة تسمح بقياس الزمن الذي تبقى فيه العصا ملامسة للوحة بدقة.

في الغالب، تفشل المحاولات الأولى. لكن معظم المشاركين يتعلّمون الخدعة بسرعة ويتمكنون من تثبيت القرص لأي مدة أرادوها.

تم إجراء الاختبار على مجموعات من الأشخاص ذوي دوافع مختلفة تجاه النتيجة. إحدى المجموعات كانت لا تُبالي بالنجاح، وأُخبروا أن هذه دراسة نفسية بسيطة وأنهم مجرد بيانات إحصائية بدون أسماء. المجموعة الثانية وُعدت بمكافآت مالية في حال النجاح. أما المجموعة الثالثة فقد تم إيهامها بأهمية نجاحها في الاختبار، من خلال إدراجه ضمن امتحانات التوظيف دون أن يعلم المشاركون أنه اختبار نفسي.

أُدخلت تقييمات كمية اعتباطية لدرجة الدافع، ورُسمت منحنيات تُوضح العلاقة بين النجاح في أداء المهمة وبين الحافز المعطى.

نتج عن هذه الدراسة نتيجتان مهمتان:

- الأولى: أعلى معدلات النجاح كانت حين كان الحافز متوسطًا.

- الثانية: في المهام الأكثر صعوبة، كان النجاح أعلى حين كان الحافز أقل! وهذا أمر مثير للدهشة. فالحماسة تتغلّب على المصلحة الشخصية أحيانًا. ومن المفيد لمراقبي أداء الطلاب أخذ هذا بعين الاعتبار.

غالبًا ما نواجه مواقف تتطلب اتخاذ قرار: أي ثوب نشتري؟ أي طريق نسلك؟ هل نذهب إلى السينما أم إلى الملعب؟ وقبل اتخاذ القرار، تبدو الخيارات متساوية. ثم نتخذ القرار ونُزيل التردد. فهل نندم على الخيار الآخر؟ تمت تجارب جماعية للتحقق من ذلك. في إحدى التجارب، طُلب من مجموعة من الفتيات تقييم اثني عشر غرضًا، وكانت هذه الأغراض دُمى. ثم جرى انتقاء اثنين من الدُمى متقاربتين في الجاذبية، وطُلب من الفتيات اختيار واحدة لأخذها. بعد ذلك، عُرضت الدُمى الاثنتا عشرة مجددًا، وطُلب من الفتيات إعادة تقييمها. فماذا حدث؟ الدمية التي تم رفضها أصبحت أقل تقييمًا، والدمية المختارة نالت تقييمًا أعلى مما كانت عليه سابقًا. وهذا يُثبت أن الشخص لا يشعر بالندم على الخيار المُستبعد، بل إن قيمته تنخفض فور رفضه. وهو سلوك غريزي منطقي ونافع.

يمكن تعميم نتيجة هذا الاختبار :عندما يتردد المرء بين خيارين، يكون لكل منهما إيجابيات وسلبيات. وعند اتخاذ القرار، تصبح إيجابيات الخيار المُستبعد غير متوافقة مع الوضع الجديد. وهذا التناقض (أو النفور الداخلي) غير مريح،

ويُحرّك غريزة قوية لإزالته. ويتم ذلك عبر إقناع النفس بأن القرار كان صائبًا، وأن الخيار الآخر لم يكن بهذا القدر من الجودة.

هذا القانون العام أكّدته العديد من التجارب النفسية المختلفة.

لقد عرضت هذه الأمثلة لأثبت أن علم النفس يُصبح أقرب فأقرب إلى العلوم الطبيعية الدقيقة. فالأساليب المستخدمة تتضمن:

- تعريفًا صارمًا للمفاهيم
- إعداد طرق للتوصيف الكمي
- إجراء تجارب منتظمة
- تحليل إحصائي للملاحظات
- اكتشاف قوانين خاصة وتعميمها ضمن قواعد محددة.

وبالطبع، تبقى العديد من الأسئلة دون إجابة. ولكن ينبغي التأكيد على أن علم النفس اليوم يتطور بنفس نهج فروع العلوم الطبيعية الأخرى. والباحثون يُمهّدون الطريق لتفسيرات فيزيائية للظواهر النفسية من خلال إجراء تجارب موضوعية.

الفصل الثالث عشر: الفيزيائيون ينخرطون في العلم

...وهو فصل يُظهر أنه بما أن استيعاب اللامتناهي أمرٌ مستحيل، فإن الفيزيائيين مُجبرون على الانقسام إلى فرق: المنظرين، والتجريبيين، والمختصين في الأجهزة.

جميع خريجي أقسام الفيزياء في الجامعات يُطلقون على أنفسهم لقب "فيزيائيين". وهذا بالفعل ما تنص عليه شهاداتهم. ومما لا شك فيه أنهم عند التخرج يشتركون في الكثير: فقد حضروا نفس المحاضرات، وأجروا نفس التجارب العملية، وتلقوا تعليمًا عامًا واحدًا.

ولكن، بعد عدة أشهر من تخرجهم، تبدأ مساراتهم العملية بالتفرق. إذا سألت في مكاتب الجامعة أين يعمل الخريجون، فستُفاجأ بتنوع أماكن عملهم: مصنع للهندسة الكيميائية، محطة أرصاد جوية، معهد المعادن، مؤسسة للمواد الكيميائية التفاعلية، مصنع طائرات، معهد للعلوم الجنائية، بعثة أثرية، أو سفينة نووية.

وإذا زرتهم في مختبراتهم، ستجد أنهم يستخدمون تقريبًا نفس الأجهزة: مطيافات، أجهزة أشعة، أنظمة تبريد عميق، حواسيب... مما يُعطي انطباعًا أنهم يمارسون نفس المهنة.

لكن اجمعهم بعد عشر سنوات، وستراهم سعداء بلقاء زملاء الدراسة، يتحدثون بمرح عن نوادر الطلاب وأساتذتهم المفضلين أو المثيرين للسخرية. ومع ذلك، لن يتحدثوا عن تفاصيل عملهم كثيرًا: فقد أصبح كل واحد منهم يعمل في مجال مختلف، ولديه أهداف ومعرفة تخصصية مختلفة جذريًا.

وإذا تأملت المختبرات التي يعمل فيها الفيزيائيون، ستجد أنهم اكتسبوا زملاء من تخصصات متعددة: كيميائيين، أحيائيين، أطباء، ومهندسين. فمعرفتهم الفيزيائية باتت تسير ضمن خطوط زملائهم غير الفيزيائيين، ويتعاونون معهم في نفس القضايا.

إن الأفكار الفيزيائية وطرق البحث نفسها تُستخدم في جميع فروع العلوم الطبيعية والتكنولوجيا بلا استثناء، وهذا ما يساعد الفيزيائي الشاب على الاندماج في أي وظيفة تقريبًا. فالفصول الفيزيائية التي لا ترتبط بعمله تُنسى سريعًا، ويكتسب بدلًا منها معرفة متخصصة بمجاله الدقيق. ومن ناحية أخرى، فإن المتخصص في مجال غير فيزيائي، حين ينخرط في تطبيقات الفيزياء، يُكمّل معرفته بقدر جوهري من الفيزياء، فيتساوى كلا الطرفين.

غالبًا ما يسلك خريجو الفيزياء أحد طريقين رئيسيين:

- الأول: التفرغ للعلم الطبيعي.
- الثاني: الانخراط في التطبيقات العلمية، أي العمل في فروع العلم التطبيقي.

في الطريق الأول، يُستخدم تعليم الفيزياء مباشرة لتحقيق الأهداف المهنية. فاليوم، بات فهم قوانين الطبيعة بشكل عام، والمعرفة العملية بالأدوات الرياضية للفيزياء النظرية، أمرًا ضروريًا لكل عالم طبيعي، سواء أراد دراسة العمليات النووية أو الكيميائية أو البيولوجية أو الجيولوجية.

أما في الطريق الثاني، فمعرفة الفيزياء تزوّد العامل بمنهجية البحث العلمي. وحيث أن دور التخصصات الدقيقة يكون أكبر، فقد يكون من الأفضل إعداد الفيزيائيين التطبيقيين في كليات متخصصة.

ومع ذلك، حتى الفيزيائيين الذين يعملون في أساسيات العلوم الطبيعية – أي "الفيزيائيون النظريون" – ليسوا جميعًا على صورة واحدة. ورغم أنهم ينتمون لمهنة واحدة، فإن الانقسام بينهم أمر لا مفر منه.

هناك نهجان واضحان في دراسة قوانين الطبيعة:

- الأول: تجريبي، ويعتمد على التجربة المعملية – أي الأسئلة التي يطرحها الإنسان على الطبيعة .فالطبيعة

لا تُفرّط بأسرارها بسهولة، وللحصول على إجابات لا بد من خلق ظروف صناعية خاصة: ضغوط ودرجات حرارة عالية، أشعة ضوئية قوية، وموجات راديوية... عندها فقط تستجيب الطبيعة وتكشف عن أسرارها.

- الثاني: نظري، يقوم على تحليل دقيق للحقائق التجريبية، مما يُمكن الباحث من تصور سير الظاهرة وبناء نموذج لها. فإذا كانت الفرضيات صحيحة، فإن التفكير المنطقي والحسابات الرياضية المناسبة تسمح باستخلاص نتائج تُقارن لاحقًا بالتجربة. فإذا أكّدتها التجربة، تكون الفرضيات على الأقل محتملة. وإذا لم تؤكدها، تُرفض الفرضيات.

وهذان النهجان يتطوران باستمرار في تفاعل متبادل. فالاكتشافات التجريبية الجديدة التي لا تنسجم مع التصورات النظرية القائمة تتطلب إعادة النظر في النماذج المعتمدة. وفي المقابل، تولد النظريات الجديدة نتائج لم تُختبر بعد، وتطرح تحديات تجريبية جديدة أمام العلم.

من المؤكد أن العالم المثالي هو من يجمع بين المنهجين. ولكن لأسباب متعددة، انفصل الفيزيائيون في القرن العشرين تقريبًا إلى تجريبيين ونظريين.

اليوم، الباحث الذي يدرس الطبيعة بالوسائل التجريبية لا يُشبه المجرب التقليدي. حتى قبل خمسين عامًا، كان من الطبيعي أن يُجري العالم التجربة بيده من بدايتها حتى نهايتها .حين كنت طالبًا في الجامعة، كان لدينا في قسم الفيزياء عالم تجريبي رائع اسمه "كونستانتين ياكوفليف". كان يظهر في ممر قسم الفيزياء عند الساعة الحادية عشرة صباحًا، مرتديًا بذلة مكوية وقميص أبيض ناصع ذو ياقة مرفوعة. يدخل غرفته، يخلع سترته، ويرتدي وزرة العمل، ثم يتوجه إلى المخرطة التي بجانبه. كان ينفذ بنفسه كل العمليات: النحت، النجارة، نفخ الزجاج. من البداية إلى النهاية. لا شك أن في هذا أسلوبًا ساحرًا.

لكن وتيرة التقدم العلمي في الوقت الراهن قضت على هذا النمط من العلماء تمامًا. أصبح تقسيم العمل في العلم أمرًا أساسيًا، مثلما هو الحال في الصناعة.

ومع ذلك، لا يزال هناك علماء يحبون تصميم وبناء أجهزة القياس والأدوات التجريبية، وهم يُشكلون فئة علمية مفيدة جدًا. ومن الطبيعي أن بعضهم يُبالغ في التفاصيل.

حين كنت أعمل في معهد الطب التجريبي في عموم الاتحاد، كان بجوار مختبري مختبر العالم "يفغيني كوماروف"، أحد أوائل من أنشأوا تركيبة معقدة لقياس أطياف رامان. كل ستة

أشهر كان يدعوني لرؤية ما أنجزه. ولم تكن دعوتي تذهب سُدى: كنت أُعجب كثيرًا بما رأيت – القطع المُركبة بدقة، أنابيب الماء المطاطية المرتبة والمنسقة والمثبتة بمشابك أنيقة، والزجاج يلمع على خلفية خشب مصبوغ بالأسود. كل شيء مصنوع بعناية وجمال. كنت أجد في هذه التركيبة متعة جمالية خالصة.

قال كوماروف: "ها هو الطيف، إنه على المستوى المطلوب، ويُضاهي أفضل النماذج العالمية".

كان كوماروف قد جمّع الجهاز بنفسه، وأضاف كل لمسة نهائية إليه، رغم أن أجزائه صُنعت في الورشة.

وبالمقارنة مع "الباحث الكلّي" الذي يُنفّذ التجربة من بدايتها حتى نهايتها، يُعتبر هذا بالفعل خطوة متقدمة؛ فقد قام كوماروف بالحسابات، ووضع التصاميم، ورسم المخططات لجهازه.

قلت له: "تابع التحقيق العلمي. هذه طريقة جديدة، والناس بدأوا لتوهم باستخدامها، لديك فرصة للتقدم، خصوصًا أن هناك الكثير من الأسئلة الغامضة".

أومأ كوماروف موافقًا، ثم ودّعني وهو يتأمل جهازه بتركيز شارد.

وبعد بضعة أسابيع، رأيت صناديق عدّة عند باب مختبره. دخلت، وإذا بكل شيء مُفكك.

سألته: "ما الأمر يا يفغيني فلاديميروفيتش؟ ما الذي حدث؟ " قال: "أرسلته إلى الورشة ".قلت متعجبًا: "إلى الورشة؟ هل هناك خلل؟ "أجاب وهو يُمسك بياقة سترتي ويحدّثني بحماسة عن تعديل جديد فكر فيه: "لا، لا يوجد خلل، لكني خطرت لي فكرة تحسين، ستحدث فرقًا كبيرًا"!

تأخّر إطلاق الجهاز ستة أشهر أخرى. بدأ كوماروف دورة جديدة من الحسابات. وتكرّر هذا السيناريو عدة مرات. وكانت النهاية أنه لم يُشغّل جهازه قط؛ ففي صيف عام ١٩٤١ تم استدعاؤه إلى الجيش ولم يعد من الحرب.

لو سُئلت عن تصنيف الفيزيائيين، لقلت إن هذا النوع يُسمّى "رجال الأجهزة" – أي أولئك الذين يكرّسون حياتهم للقياس، بغض النظر عمّا يُقاس. وهم دون شك يشكّلون فئة أساسية في جيش العلم؛ فلولا عملهم العنيد، لما تحقّقت العديد من الإنجازات التجريبية الرائعة.

لكن الباحث التجريبي النموذجي في القرن العشرين مختلف تمامًا. فهو غالبًا يشتري الجهاز أو يطلبه، ونادرًا ما يُركّبه بنفسه. وربما لا يعرف سوى القليل عن طريقة عمل الجهاز

الذي يستخدمه. وإذا حدث خلل، فإنه يستعين بمساعدة الآخرين.

تكمن موهبة هذا النوع من الباحثين أساسًا في قدرته على صياغة المشكلة بدقة. وتكمن جدّة تحقيقاتهم في خلق ظروف غير مألوفة لظاهرة معيّنة تُظهر جانبًا جديدًا لها، أو مثلًا في مقارنة خواص متعددة لمادة معينة في وقت واحد.

في بعض الأحيان، تظهر نتائج التجربة فورًا، كصورة مجهرية إلكترونية أو قياس خاصية معيّنة للمادة. لكن في حالات كثيرة، يكون فك رموز النتائج عملًا شاقًا ومثيرًا. وغالبًا ما يتطلب الأمر حجمًا ضخمًا من الحسابات، تُنفّذ بواسطة الحواسيب الإلكترونية السريعة. وهكذا، يقضي الباحث معظم وقته على مكتبه، ويُنظر إليه أحيانًا على أنه نظري – وإن فقط في نظر رجال الأجهزة.

يرضى معظم الباحثين التجريبيين باكتشافهم لحقيقة جديدة ويُنهون بحثهم عند ذلك. أحيانًا، إذا سُنحت الفرصة، يُقارنون نتائجهم بالنظريات القائمة، أو يتابعون الأعمال النظرية للعلماء الآخرين، لكن غالبًا يكون هدفهم إيجاد أفكار لتجارب جديدة.

من البديهي أن إدارة مختبر بحثي يُحلّل نتائجه بنفسه أمر أكثر إثارة. في هذه الحالة، تُستخدم التجربة للتحقق من الأفكار،

وتُشكّل دافعًا لتطوير النظرية وصقلها. إلا أنه من النادر أن تكون البيانات التجريبية من مختبر واحد كافية لصياغة والتحقق من نظرية كاملة. ولم يعد هناك فرق كبير بين "تجربتك الخاصة" و"تجربة الآخرين."

ربما لهذا السبب، الباحثون ذوو الميل النظري لا يشعرون بالحاجة إلى إجراء تجارب بأنفسهم. فهم يعتبرون تجارب العالم كلّه ملكًا لهم. وإذا احتاجوا تجربة خاصة للتحقق من فرضية، يستطيعون دومًا التوصل لاتفاق مع أحد التجريبيين في نفس المجال ليساعدهم.

تسعة أعشار عمل الفيزيائي النظري هي نشاط ذهني محض؛ والباقي يُخصّص للحسابات، ومناقشة المشكلة، وكتابة الورقة العلمية. حالة التركيز الذهني الشديد مألوفة جدًا لدى أفراد عائلة الباحث، حتى أصغر الأطفال.

يقول أحدهم: "ماريا، دعينا نذهب إلى أبي ".فترد الأخرى: "لكنّه يعمل ".فتقول: "لا، إنه جالس فقط على الكرسي ".فيردّ أحدهم: "لكن انظري إلى عينيه، إنه يعمل".

يستغل صانعو الأفلام كثيرًا النظرة المشدودة والغامضة كرمز لدماغ منهمك بالتفكير.

يوم عمل المنظّر ربما أطول من أي عامل آخر. وأفضل النتائج تتحقق عند جلوسه على مكتبه، لكن التفكير يستمر

طوال اليوم: أثناء الغداء، في الاجتماعات، في الطريق، بل وحتى حين يكون منشغلًا بشيء آخر، يواصل ذهنه تقليب الأفكار والبراهين والاعتراضات.

فكيف تولد الفكرة العلمية الجديدة؟ وما آلية الإبداع؟ ليس لدي شك أننا سنصل في النهاية إلى إجابات لهذه الأسئلة الغامضة والمثيرة. سلسلة من الخطوات المنطقية تقود إلى الهدف، لكن الطريق متاهة معقدة على العقل أن يشقّها. كل خطوة تُولّد عشرات أو مئات من الاحتمالات، وكل واحدة منها يجب فحصها قبل الانتقال للخطوة التالية. كمتسلّق الجبال الذي يبحث عن موضع آمن لقدمه، يجب أن يفحص العقل جميع الحقائق التي تسبق كل خطوة، والأفكار التي ينبغي رفضها أو إضافتها للنظرية الجديدة.

لنجاح هذا المسار، يجب أن يبقى الذهن تحت سيطرة صارمة. فالتشتيت الطفيف قد يؤدي إلى خلل في المنطق، أو نسيان معلومة مهمة.

فمن الذي يمكنه اجتياز هذا الطريق؟ بالطبع من لديه ذاكرة جيدة، قدرة صارمة على التفكير، وموهبة في عدم فقدان الخيط المنطقي المعقد. ولابد أن تُضاف لهذه الخصائص العقلية ميزة من صفات الشخصية.

كثيرًا ما سمعت أحدهم يقول: "كنت بصحبة بعض الفيزيائيين الشباب... أشخاص لطفاء، لكن أكثر ما أزعجني هو أنهم يتحدثون بثقة زائدة، وكأنهم يعلمون كل شيء".

وأعتقد أن هذا ليس أمرًا عشوائيًا. فالثقة بالنفس أمر ضروري للباحث الجيد. وأقصد هنا الثقة في التفكير العلمي، وليس الثقة السطحية لمن يُعلي رغباته فوق كل شيء.

بالنسبة للفيزيائي المتأمل، لا يجب أن يكون شيء أقوى من منطقه الخاص. افترض أنه أجرى عملية تفكير وفحص مسار استنتاجاته عدة مرات. لكن النتيجة تُخالف الآراء المقبولة وتتناقض مع آراء كبار العلماء .فيقول: "لا بد أنني أخطأت في مكان ما، سأعيد التفكير من زاوية مختلفة ".مثل هذا الشخص لن يكون عالمًا كبيرًا أبدًا، بل سيظل في الأدوار الثانوية.

أما العالم الحقيقي، فلا يتراجع أمام آراء غير المثبتة .يفحص منطقه عشر أو مئة مرة، منطلقًا دائمًا من المبدأ: إما أن منطقي سليم، أو أنني ارتكبت خطأ .يرفض الاعتراضات التي تعتمد فقط على ذكر أسماء مرموقة .ومن يريد أن يتحداه، عليه أن يُبيّن الخطأ في تفكيره .وحتى يحدث ذلك، يثق في منطقه – وإن لم تُوافقه الحقائق.

ومن المعروف أن أغلب علماء الفيزياء النظرية (والرياضيات) يحققون أفضل إنجازاتهم في مطلع مسيرتهم. وهذه بعض الأمثلة المقنعة:

نيوتن اكتشف أعظم اكتشافاته وهو في الـ27 من عمره؛ ماكسويل، في الـ29؛ هايزنبرغ، في الـ24؛ آينشتاين، في الـ25؛ لوباتشيفسكي، في الـ33؛ جالوا، في الـ19 .أما الاستثناءات، فهي نادرة: فقد اقترح شرودنغر معادلته وهو في الـ38 من عمره.

يمكن تفسير هذه الظاهرة من خلال تشبيهها بالرياضة .مع مرور الزمن، يفقد الإنسان قدرته على استجماع كل قواه بسرعة. في الشباب، يمكن للإنسان أن يجمع كامل طاقته الجسدية في لحظات، فيُحقق أرقامًا قياسية مذهلة. وربما مع العمر نفقد القدرة على استجماع القوة الفكرية القصوى .ما نسميه "ضربة عبقرية" يُشبه ضربة البرق

...يتطلّب مستوى هائلًا من التركيز، لا يقدر عليه إلا الشباب.

الباحث الناضج يمتلك معرفة أكبر، وخبرة أوسع، وربما موهبة أعمق، لكنه فقد القدرة على حشد كل تلك المزايا دفعة واحدة وتوظيفها في لحظة خاطفة .وبلغة الفيزياء: العالم الناضج قد يمتلك طاقة عقلية أكبر، لكن دماغ الشاب قادر على إنتاج قدرة أعلى، أي إخراج أقوى في الزمن القصير .

لهذا السبب يتمتع الشباب بأفضلية في الرياضيات والفيزياء النظرية.

أما في الحالات التي يعتمد فيها النجاح أساسًا على التحليل المتعمّق والشامل للحقائق – وهذا هو الحال في العلوم الطبيعية التجريبية، حيث يلعب التفكير التركيبي المكثّف دورًا ثانويًا – ففي هذه الحالة، كما هو متوقع، تكون الأفضلية للنضج .داروين، مندليف، بافلوف، رونتجن، جميعهم كانوا في سن النضج عند إنجازاتهم الكبرى.

قد تظل مواهب الفيزيائي النظري كامنة طوال طفولته ومراهقته. وضياع ثلاث أو خمس سنوات من عمره قد يكون كارثيًا. ولهذا السبب، من المهم جدًا البحث عن المواهب الشابة وتهيئة أفضل الظروف لتنميتها.

كثير من كبار الفيزيائيين النظريين يدركون ذلك تمامًا. وقد كُتب كثيرٌ في صحفنا عن الجهود المبذولة لاكتشاف الشباب ذوي القدرات النظرية في العلوم الطبيعية في كل قرية ومدينة صغيرة. وعلى حد علمي، لا يُبذل شيء من هذا القبيل في الدول الرأسمالية.

لقد أصبحت العناية بالمصلحة العامة جزءًا من طبيعة الإنسان السوفيتي. فالعلماء البارزون يكرّسون كثيرًا من وقتهم وجهدهم لتنظيم مسابقات تهدف إلى الكشف عن المواهب

الشابة، وتُنشأ مدارس خاصة يُدرّس فيها الأطفال الموهوبون وفق مناهج خاصة.

الرياضيون والفيزيائيون الجادون، العاشقون لمهنتهم والمدركون لمسؤوليتهم المجتمعية، يجدون رضاهم في دعم هذه المبادرات العامة. وهم يقدّمون كل ما يستطيعون لمساعدة الشباب الموهوبين على إيجاد طريقهم.

وإليك ما كان يفعله الأكاديمي "ليف لانداو"، أحد أبرز الفيزيائيين النظريين لدينا :كان الشاب يأتي إلى منزله ليخبره برغبته في أن يصبح تلميذه – هذه هي الخطوة التمهيدية الوحيدة .ثم يخضع لامتحان أولي. بعد اجتيازه، يُخبره لانداو ماذا يقرأ، وما هي المسائل التي عليه تعلم حلّها، ويُسجّل اسمه في دفتر خاص .وعند الزيارة التالية، إذا قدّم تقريرًا مرضيًا عن عمله، تظهر أول علامة "صليب صغير" بجانب اسمه.

ثم تُعطى له تعليمات جديدة، ومهام أكثر صعوبة .ويبدو أن اجتياز الاختبار يتطلب خمس أو ست علامات من هذا النوع. بعدها يُسند إليه مهام بحثية ويُسمح له بحضور الندوات العلمية. وهكذا يُوضع على الطريق .أما النجاح، فكان يتوقف على موهبته واجتهاده.

وكما أن "رجال الأجهزة" هم مساعدو الباحثين التجريبيين الرئيسيين، فإن المساعدين الرئيسيين للفيزيائيين النظريين هم

الباحثون في الفيزياء الرياضية .وكما توجد فئة من العاملين لا يهمهم ماذا يقيسون طالما يعملون بأدوات جميلة، هناك أيضًا فئة لا يهمها ما تحسب طالما أن الحسابات دقيقة ومثيرة للاهتمام .وكما تتفاوت نسبة انشغال الباحث التجريبي بالأجهزة من صفر إلى مئة بالمئة، تتفاوت نسبة انشغال الفيزيائي النظري بالحسابات ضمن نطاق واسع جدًا.

كثير من النظريين يُفضّلون تنفيذ الحسابات بأنفسهم من البداية إلى النهاية من أجل الحصول على "الرقم النهائي" – أي الكمية التي يمكن التحقق منها تجريبيًا مباشرة .أما البعض الآخر، فلا يهتم بذلك، ويكتفي باشتقاق الصيغ الرياضية العامة للمشكلة الفيزيائية.

وبالطبع، كل نوع من العلماء ضروري .فالصف العلمي يمتد من عُشّاق الأجهزة في أحد الأطراف، إلى الرياضيين في الطرف الآخر.

لكن أحد أكثر المشكلات تعقيدًا هو التعاون بين هؤلاء الباحثين، الذين تختلف اهتماماتهم، وغالبًا لا يجد أحدهم الآخر مثيرًا للاهتمام .فالمجرب قد يجد من المستحيل فهم جوهر نظرية مخفية خلف غابة من المعادلات، ويقتصر اهتمامه بالنظرية على البيانات التي يمكن مقارنتها بالتجربة .ومن جهة أخرى، فإن تعقيد منهجيات التجريب الحديثة يجعل من

الصعب على النظري الحكم على مصداقية النتائج؛ فيأخذ الأرقام المقدمة من زميله المجرب كما هي، ويبني عليها منطقه النظري.

ومع ذلك، هناك عدة روابط يمكن أن تجمع بين هؤلاء الباحثين:

الرابط الأول: المنهج المشترك .مثلًا، حين أعمل في تحليل الأشعة السينية، وأجد أن نفس المنهج يُستخدم في معهد للمعادن. فنحن نستخدم نفس أنابيب الأشعة، نفس الأجهزة والكاميرات. وهناك الكثير من القواسم المشتركة في طريقة فك صور الأشعة. لكنني لا أهتم بتركيب المعادن وخصائصها، وتركيبات المركبات العضوية التي تهمني تبدو لغزًا للخبير في المعادن. وهكذا، رغم أن الرابط هو المنهج، إلا أن استخدامه لأغراض مختلفة يُضعف هذا الرابط.

الرابط الثاني: الموضوع المشترك، لكن بمنهجيات مختلفة . مثلًا، حين يدرس العلماء تركيب الجزيئات العضوية، فتستخدم مجموعة الطرق البصرية، وأخرى الأشعة السينية. وهنا، فإن اختلاف أدوات البحث يُضعف الرابط.

الرابط الثالث: الاهتمام النظري .فقد ينجذب الباحث إلى مجال مختلف كليًا بسبب تشابه رياضي في تمثيل وتحليل الظواهر .وتُصبح هذه النظريات بمثابة جسور تواصل بين

المجموعات العلمية المختلفة إذا انجذب إليها ممثلو هذه التخصصات.

وباختصار، يمكن تمثيل علاقة العالم الطبيعي المعاصر بزملائه كمتعدد الوجوه، ترتبط فيه جوانب مختلفة بأشكال متباينة تمامًا .مثلًا، الباحث الذي يعمل في تحليل الأشعة السينية للمركبات العضوية، قد يجد زملاء في علماء المعادن، أو علماء البصريات الذين يدرسون نفس المركبات – وهما مجموعتان لا يُتوقع أن يتلاقيا عادة.

وكما ترى، نعود مرارًا وتكرارًا إلى مسألة "الاستمرارية" و"التفاعل المعقد" بين جميع جبهات العلم .فالاكتشافات في علم المعادن قد تُحدث تأثيرًا في التقدم بمجال البيولوجيا الجزيئية .وتأخر التقدّم في التحليل الطيفي قد يُعيق تطور التصوير بالأشعة.

إنّ جانبًا جوهريًا في تطور أي فرع علمي هو الخلفية العامة للتقدم العلمي الشامل.

الفصل الرابع عشر: طريقك واسع

والذي يُبيّن أن الفيزيائيين لا يُفضّلهم فقط هواة العلم، بل أيضًا مدراء المصانع الذين يُطالبون بتحقيق خطط الإنتاج. كما يكتشف القارئ أن الانشغال بالفيزياء لا يمنع من المشاركة في البعثات والاستكشافات.

لن أتحدث هنا عن الفيزيائيين الذين يتولّون معالجة قضايا تطبيقية ذات أهمية قومية بالغة، والذين يتحمّلون مسؤوليات ضخمة. كي ينجح هؤلاء العلماء في عملهم، لا بد أن يمتلكوا، إلى جانب صفات الفيزيائي البارز، قدرات تنظيمية خارقة. وربما يُكتب يومًا كتاب عن هذه الفئة من الباحثين، أمثال كورشاتوف وفافيلوف، يحكي عن دور الفيزيائيين في بناء القوة العسكرية لوطننا. إنها مسألة مهمة ومثيرة، لكنها تتجاوز نطاق هذا الكتاب .لكن سيكون من الظلم ألّا نُفرد فصلًا للغالبية الساحقة – إن لم تكن تسعة وتسعين من كل مئة – من الفيزيائيين الذين يعملون في المختبرات الصناعية.

لا تظنوا أن هناك فرقًا كبيرًا في الموهبة أو المعرفة بين الفيزيائيين التطبيقيين والفيزيائيين العاملين في العلوم الطبيعية. وإن شئنا، يمكننا تقسيم الفيزيائيين التطبيقيين إلى نظريين وتجريبيين ومتخصصين في الأجهزة.

صحيح أن خبراء القياس يحتلون الصدارة ضمن "أوركسترا" الفيزيائيين التطبيقيين، لأن جزءًا كبيرًا من البحوث التطبيقية يهدف إلى ابتكار أجهزة جديدة، وتحسين الأدوات القائمة، وتطوير أساليب قياس دقيقة ومُتنوعة للكمّيات الفيزيائية.

كثير من الفيزيائيين التطبيقيين لا ينخرطون في الأبحاث على الإطلاق. فهم يعملون بأجهزة معقدة يستخدمونها للتحليل اليومي أو لأغراض رقابية.

إن النمو السريع للفيزياء التطبيقية أدّى إلى نشوء فروع مستقلة عنها، مثل الإلكترونيات، والأتمتة، والطاقة – وهي في جوهرها فروع من الفيزياء التطبيقية. لكنها تطورت بشكل جعل المتخصصين فيها يُدرّسون في كليات منفصلة. ومع ذلك، يصعب رسم حدود واضحة بين هذه التخصصات؛ فكثيرًا ما تجد خريجًا من قسم الفيزياء في الجامعة يعمل جنبًا إلى جنب مع خريج قسم الإلكترونيات في كلية تقنية في نفس المشروع. لذلك، آمل ألا يثير القارئ جدلًا حول إن كانت هذه فيزياء تطبيقية أم علم من نوع آخر.

وعن الفيزيائيين العاملين في الصناعة...

تخيل مصنعًا حديثًا لإنتاج محركات الطائرات. إنه منشأة ضخمة يعمل فيها نحو عشرين ألف عامل. هناك ورش لتصنيع الأسطوانات، وأذرع التوصيل، والمكابس، وأجزاء

أخرى. تتجمّع هذه الأجزاء في ورشة التجميع، حيث تُركّب لتشكيل المحرك الكامل. ثم يُختبر المحرك على منصّة خاصة، ويُوقّع تقرير يُثبت جودته، وبعد ذلك يُركّب في الطائرة.

اختبارات الأداء تُعد ضمانًا جيدًا للجودة، لكنها ليست ضمانًا مطلقًا. ومحرك الطائرة، إذا تعطّل، قد يُكلّف الكثير من الأرواح. ولكي نقلّل هذا الاحتمال لدرجة ندرتها مثل الزلزال في موسكو، يجب أن تضمن كل ورشة – إلى جانب ورشة التجميع – جودة إنتاجها .يجب أن تُفحص كل وصلة بدقة، وأي خلل في أي جزء، كوجود خدش في عمود الدوران أو فراغ خفي في جسم الأسطوانة، يُعتبر غير مقبول.

ولتحقيق هذا الضمان الكامل، لا بد من نظام رقابي صارم باستخدام وسائل فيزيائية. فالتصوير بالأشعة يكشف عدم التجانس في المعادن .عين الفيزيائي الخبيرة تلتقط من خلال صورة الأشعة أو شاشة العرض المتوهجة أدقّ التشققات أو الشوائب.

بجوار آلة تصنيع الأعمدة، يوجد جهاز لرصد الشقوق السطحية الدقيقة باستخدام طريقة "التحليل المغناطيسي للعيوب". يُمغنط العمود، ثم يُسكب عليه زيت يحتوي على

دقائق مغناطيسية. ينساب الزيت، وتلتصق الدقائق في أماكن الشروخ غير المرئية.

هناك ورش أخرى تستخدم أجهزة مغناطيسية كذلك. فالعلاج الحراري الخاطئ أو التفاوت في سماكة طبقة اللحام يتم الكشف عنه من خلال خاصية تُعرف بـ"قابلية المغنطة ."مهمة الفيزيائي هنا هي تصميم طرق سريعة ودقيقة لقياس هذه الخاصية، مع الأخذ في الحسبان شكل الجزء المصنّع ونوع المادة المُستخدمة فيه .وكل جزء جديد يُمثل مشكلة جديدة.

تقع مسؤولية تشغيل أجهزة الأشعة وتصميم طرق جديدة لتصوير المعادن على عاتق مختبر التصوير بالأشعة في المصنع، أما مختبر المغناطيسية فيتولى جميع القياسات المغناطيسية في الورش.

وكل مصنع للمعادن يجب أن يحتوي على مختبر طيفي . فالتحليل الطيفي أكثر الأساليب فاعلية في الرقابة المستمرة على تركيب السبائك المصنّعة في ورشة الصهر .كل سبيكة يجب أن تُطابق مواصفات صارمة؛ تتضمن القائمة الإضافات المطلوبة ومجالات نسبها المسموح بها – كأن لا تقل عن ٢,٥٪ ولا تزيد عن ٣٪ .كما تتضمّن حدود المكوّنات غير المرغوب فيها – مثل ألّا تتجاوز ٠,٠١٪.

ربما يتصور بعض القرّاء مشهدًا تقليديًا لرئيس الورشة جالسًا أمام ميزان يحمل قائمة المواصفات، يقول مثلًا: "زن ٢٥,١٧ كجم من النحاس"، ثم "٣,٢٥ كجم من السيليكون ".لكن هذه الصورة لا تمتّ للواقع بصلة.

فشحنة الفرن تحتوي على مواد خام مختلفة ومخلفات صناعية، لذلك لا يُعرف تركيبها بدقة مسبقًا .وبمجرد أن تذوب الشحنة، يجب معرفة تركيبها فورًا .تُرسل عينة للاختبار بالبريد الهوائي إلى المختبر، وهناك يتم تثبيتها في جهاز الطيف.

ضغطة زر تُشغّل الجهاز، ويُسخّن طرف العينة إلى درجة حرارة أعلى من حرارة الشمس !يتبخّر المعدن، وتُشعّ ذراته في لهب القوس الكهربي، كل نوع من الذرات بطريقته الفريدة .يسقط الضوء الناتج على منشور زجاجي يُحلّله إلى أطياف. وتظهر على شاشة الجهاز أو على لوحة تصوير أو حتى على شاشة تلفزيونية خطوط متعددة.

كل نوع من الذرات له خطوط طيفية مميزة خاصة به.

يُصدر المختبر تقريره: "خط الحديد قوي جدًا! قلّل نسبة الحديد"، ويتم نقل النتائج هاتفيًا.

هناك العديد من المختبرات الأخرى التي يعمل فيها الفيزيائيون. ففي كثير من المصانع، قد تُشكّل الأقسام الفيزيائية ما بين ثلث إلى نصف مرافق المختبر المركزي . والعمل في القسم الفيزيائي لمصنع كبير ومتعدد المنتجات، ومتغيّر الإنتاج، يتطلب قدرًا من الإبداع، والدقة، والمعرفة الشاملة .كما ذُكر سابقًا، على الفيزيائي ألا يعرف الفيزياء فقط، بل المجال الذي تخدمه أيضًا.

الطب

لا أعلم إن كانت الوثائق الرسمية تحتوي على مصطلح "الفيزياء الطبية"، وإن لم تكن، فأنا واثق أنها ستحتوي عليه قريبًا .فمع مرور كل عام، تجد الطرق الفيزيائية للقياس تطبيقات متزايدة في مجال التشخيص .بدأت تظهر أدوات فيزيائية دقيقة في غرف العمليات .لكن لا يزال حضور الفيزياء في العلاج الطبي محدودًا. فمصباح الكوارتز وجهاز دارسونفال ما يزالان الأدوات الأساسية في العلاج الفيزيائي.

وقد يكون هذا رأيًا من غير المتخصص، لكنني ألاحظ أن الابتكار الوحيد الذي ظهر هو جهاز "النوم الكهربائي ."تُثبت أقطاب كهربائية في رأس المريض، ويُرسل جهاز بسيط نبضات إيقاعية تُسهم في نوم من يُعاني من أرق شديد.

ليس من الصعب فهم لماذا احتلّت الأساليب الفيزيائية مكانة قيادية في التشخيص بسرعة. فالجسم يخضع لعدد كبير من العمليات الفيزيائية، وكلها يمكن دراستها بوسائل موضوعية فيزيائية.

مثلًا، يمكن توصيل الميكروفونات بمضخّمات صوتية لقياس كل دقات القلب وأصواته، وهناك أجهزة تُحلّل هذه الأصوات إلى أطياف اهتزازية .ومن المعروف أن المنحنيات الطيفية للجسم السليم والمريض تختلف تمامًا.

أذكر أن الأطباء في آسيا يُفرّقون بين مئة نوع من دقات القلب .ويُعتبر تحسس النبض لمدة طويلة وبشكل دقيق وسيلة تشخيصية أساسية .وبما أن تعلم هذا النوع من التشخيص ليس سهلًا، فإنه من المنطقي أن تُسند هذه المهمة إلى محلل صوتي.

اليوم، قياس ضغط الدم لم يعد أصعب من قياس درجة الحرارة .لكن نتائج هذا القياس لا تزال تقديرية جدًا. فلماذا لا نُبتكر طريقة لقياس تدفّق الدم عبر الشرايين والأوردة، تكشف عن أقل الانحرافات عن الحالة الطبيعية؟

أما الطريقة التي تُستخدم في فحص عصارة المعدة، فهي بالفعل بدائية .لقد خضعت لهذا الفحص مرة واحدة في حياتي – ولن أكرره أبدًا .فمشهد بلع أنبوب مطاطي طويل ما يزال حيًّا في ذاكرتي.

أليس من الممكن استبداله بجهاز صغير يبتلعه المريض، ويُجري الفحص أثناء مروره داخل المريء، ثم ينقل النتائج للطبيب عبر موجات لاسلكية؟ قد يبدو هذا خياليًا، لكنني سمعت أن مثل هذه الأفكار طُرحت بجدية، وقد تجاوزت بالفعل مرحلة التصميم.

يُعتبر استخدام الذرات التتبّعية في التشخيص وسيلة واعدة جدًا .فهناك عدّادات يمكنها الكشف عن كميات ضئيلة جدًا من المواد المشعة على بُعد مسافة، كميات ضئيلة لدرجة أنها لا تُسبب أي ضرر للجسم .ويُمكن بهذه الطريقة تتبّع سرعة استقلاب الجسم للعناصر المختلفة وحركتها داخل الجسم بسهولة.

ارتباطات القلب تُنتج تغيرات كهربائية يمكن قياسها بجهاز تخطيط القلب الكهربائي .وقد مكّنت سنوات طويلة من المراقبة الأطباء من ربط منحنيات التخطيط بحالات مرضية معينة .لكن لكي يُحقق هذا الأسلوب كامل قدراته، يجب تأسيسه على قاعدة نظرية، ويجب تفسير صورة القمم والقيعان المتعرّجة.

منحنيات النشاط الكهربائي للدماغ الناتجة من تثبيت أقطاب كهربائية على الجمجمة يمكن أن تُخبرنا الكثير عن حالة الجهاز العصبي .لكن، فقط إذا تعلمنا فك رموز هذه الإشارات

الغامضة .وما زلنا بعيدين عن ذلك الهدف، رغم أن المادة التجريبية تتراكم بوتيرة سريعة.

الجهد الدماغي يتفاعل فورًا مع كل إحساس: طعم الملح أو السكر على اللسان، الموسيقى أو الضجيج، إشارات الضوء بألوان مختلفة وبريق متغيّر ...كل إحساس يؤثر على هذا الناقل الغامض للمعلومة .ويُظهر الرأس استجابات متباينة حسب المنطقة، ويُنتج الأشخاص الأصحاء والمرضى أنماطًا موجية مختلفة.

في البداية، قد يُحبَط المراقب من رؤية الأمواج الدماغية المتنوعة بلا حدود .منحنى متعرج ينبض ويخفق على شاشة المِجهر الإلكتروني .يمكن رؤية كيف يتغير شكله حين يستجيب الدماغ لأحداث مختلفة .فكيف يمكن فهم الرسالة التي تحملها هذه التعرجات؟

لكن مؤخرًا سُجّل تقدم كبير في تحليل هذه الموجات الغامضة . فقد تم إدخال الإشارات الكهربائية إلى جهاز حاسوب مبرمج بذكاء، وظيفته تصفية كل القمم العشوائية غير المنتظمة . والهدف هو استخراج الأنماط المتكررة فقط من الموجات . وبذلك تمكّن العلماء من ربط التغيرات النموذجية في موجات الدماغ بمنبّهات خارجية معيّنة.

هذه الدراسات لا تزال في بدايتها، لكنها تحمل وعودًا باختراقات كبرى .وربما خلال عقود قليلة، سنتمكن من استجواب الجهاز العصبي مباشرة عن صحته.

تحققت العديد من الإنجازات الرفيعة في جراحة القلب بفضل تعاون الفيزيائيين. لقد سمعت بلا شك عن تلك العمليات المذهلة التي تُجرى على القلب. بعض هذه العمليات لا يمكن تنفيذها إلا عند خفض درجة حرارة الجسم بدرجة كبيرة. ويتم ذلك بطرق مختلفة، منها مثلًا تحويل مسار تدفق الدم ليمر عبر جهاز تبريد ثم يُعاد إلى الجسم بدرجة حرارة أقل .لقد أصبحت وسائل التحكم الحراري التي طوّرها الفيزيائيون في خدمة الطب.

اليوم، يملك الفيزيائيون مجالات واسعة للعمل في الطب. والأجهزة التي يصمّمونها يجب أن تكون سهلة الاستخدام، وتعمل بكفاءة بين يدي الأطباء، دون أن يُضطروا لمعرفة تفاصيل تشغيلها .عادةً ما يجد "رجال الأجهزة" من الفيزيائيين فرصًا في الطب، أولئك الذين يمتلكون معرفة واسعة بالفيزياء التجريبية، وبجميع تقنيات القياس الفيزيائي، إلى جانب الحنكة الهندسية، والمهارات اليدوية، والحدس الفريد الذي يُمكّنهم من اختيار أنسب الحلول وأبسطها من بين العديد من الخيارات الممكنة.

.اللسانيات أو علم اللغويات

قد يتساءل القارئ: هل يقصد المؤلف أن كليات اللغة التي تدرس النحو والتركيب وتقارن جذور الكلمات عبر اللغات المختلفة يمكن أن تستفيد من مختبر فيزيائي؟ الجواب: بالفعل، هذا ما يحدث!

مثال ذلك "معهد موسكو للغات الأجنبية"، الذي يُوظّف الفيزيائيين منذ فترة .ويجب أن نُذكّر أولًا أن علوم اللغة تتضمن "علم الأصوات"، أي دراسة أصوات الكلام .وكل طالب في اللغات الأجنبية يعرف أن أكبر عقبة تواجهه هي النطق الصحيح للغة الغريبة .فإذا لم يُجيد نطق الكلمات، فلن يفهمه أحد .وبقدر أهمية النطق، تُعدّ القدرة على تمييز الأصوات الغريبة بنفس القدر من الأهمية؛ فالفهم السليم لأي لغة يبدأ من الاستماع لحديث أهلها.

ولكي يتمكن المتعلّم من الفهم والاستيعاب والنطق السليم، يجب أن يعرف علم الأصوات. وليس من الصعب إدراك كيف يمكن لهذا العلم أن يرتقي إلى مستوى جديد تمامًا بمساعدة "التحليل الطيفي الصوتي."

تتراوح الترددات الصوتية الناتجة عن كلام البشر من مختلف الأعراق عادةً ما بين ٣٠٠ إلى ٥٠٠٠ هرتز .ومن المعروف أن الصوت يُحدد بدقة من خلال "تركيبه الطيفي ."وبلغة

الفيزياء الجامدة، فإن الفرق بين صرخة هلع ونغمة مُغنّاة جميلة أو تعبير عن فرح، يكمن فقط في تفاوت شدة الترددات الصوتية داخل الموجة الصوتية نفسها.

توجد أجهزة فيزيائية معقدة ومذهلة تُعرف بـ"محللات الصوت"، وهي قادرة، بنفس الكفاءة، على تحليل الصوت الإنجليزي المركب "ث" وصوت "أن" الأنفي الحلقي في الفرنسية وتحويلهما إلى أرقام قابلة للقياس.

وبالطبع، لكل شخص نغمة صوتية خاصة به، ولذلك فإن من المهام الشيقة إيجاد الخصائص المشتركة التي تُشكّل النطق "المتوسط" للغة أجنبية.

نغمة الصوت أيضًا تؤثر على شكل المنحنى الطيفي، وقد تتغيّر كثيرًا لدى نفس الشخص تبعًا لحالته النفسية أو المقصود من الكلام .وقد يُغيّر تغيير بسيط في النغمة من معنى الجملة بأكملها .فكيف يُعبّر الشعور والعاطفة في الطيف الصوتي؟ هذا سؤال لغوي شيّق، ولم يبدأ التحقيق فيه إلا مؤخرًا.

ظهرت مشاكل جديدة حين بدأ العمل المنهجي في "الترجمة الآلية" من لغة إلى أخرى .قبل أن نُعلّم الحاسوب العمليات المطلوبة، كان لا بد للمبرمجين أنفسهم أن يفهموا جوهر ما يقومون به .وبالمناسبة، هذا ينطبق على مجالات أخرى أيضًا:

فالحاجة إلى تنظيم الأفكار بدقة كانت دومًا ذات فائدة عظيمة للباحثين.

حين بدأ علماء اللغويات الرياضيون في تعليم الآلات الترجمة، اكتشفوا أولًا أنهم بحاجة لفهم كيف تُعبّر الفكرة بالكلمات .لماذا نقول الأمور بهذه الطريقة وليس بطريقة أخرى؟ لماذا ترتيب الكلمات ثابت أحيانًا ومُتحرّك في أحيان أخرى؟ مثلًا: "هو أخذ كوبًا من الطاولة" و"كوبًا أخذ من الطاولة ."الجملة الثانية تعني نفس الأولى، لكنها أسوأ .يجب على الآلة أن تعرف لماذا، ولكي نُعلّم الآلة "لماذا"، لا بد أن نسأل أنفسنا ما الذي يجعلها كذلك؟ وفي أثناء البحث عن لغة مناسبة لنقل الأفكار المعقّدة، اكتشف علماء اللغويات أن قواعد هذه اللغة يمكن أن تكون أبسط بكثير من قواعد الكلام العادي . وهنا أثير سؤال: هل يوجد أساس لهذا العدد اللامتناهي من الطرق التي يمكن أن يُعبّر بها الإنسان عن نفس الفكرة؟

وقد توصل اللغويون، من خلال دراسة قوانين تركيب الجمل، إلى أن الطبيعة ليست مبذّرة كما كان يُظن .واتضح أن ثراء اللغة، ومرونتها، وتنوع طرق التعبير، هو وسيلة لتخفيف عبء الذاكرة .وأظهرت دراسات حديثة أن تبسيط اللغة قد يتطلب تعميق بُنية الذاكرة.

ففي اللغة ذات القواعد الصارمة والبسيطة، يتم تخزين الكلمة الضرورية في الدماغ بطريقة لا تسمح إلا بمسار واحد للوصول إليها .إنها كأنها مخفية في نهاية شارع ضيّق داخل متاهة، ولا سبيل إليها سوى طريق واحد: لفّة ثانية على اليسار، ثم الثالثة على اليمين – ولا طريق غيره.

أما في اللغات الطبيعية، فالكلمات المطلوبة تكون أقرب للسطح، وتتعدّد الطرق المؤدية إليها .يمكنك تخيّل مدى سهولة العثور عليها حين يكون هناك عدة طرق للوصول .ولهذا، قد تكون الذاكرة العميقة جدًا عائقًا، والنظرية المذكورة تقول إنه لا حاجة لها.

قد يقول القارئ: "كل هذا يبدو مجالًا مثيرًا للبحث، ولكن ما علاقة الفيزيائيين؟"

لكن من المؤكد أن دراسة هذه الأسئلة بعمق تتطلب "عقلية الفيزيائي ."فاللغويات الرياضية يمكن اعتبارها من العلوم الطبيعية، لأنها ترتبط ارتباطًا وثيقًا بأسئلة تتعلّق بعمل الدماغ والحواسيب الإلكترونية.

علوم الأرض

يقصّ الرحالة والجغرافيون قصصًا مدهشة عن غروب الشمس في المناطق الاستوائية، وعن الأضواء القطبية،

والجزر المهجورة، وواحات الصحراء الساحرة. يستمع الناس إليهم بانبهار ويتمنّون لو كانوا مكانهم .تخيل كم رأى هذا الرحّالة، وكم اختبر من عجائب الطبيعة .ما الذي يمكن للفيزيائي، المحصور داخل جدران مختبره، أن يرويه من قصص ممتعة؟

كان هذا الرأي يبدو منطقيًا فيما مضى .فمن المؤكد أن الرحّالة كانوا يحتكرون الحديث عن جمال الأرض البعيد وظواهرها الغريبة .لكن الزمن تغيّر .اليوم، يُحلّق الفيزيائيون في المناطيد، وينزلون في الغواصات إلى فوهات البراكين، ويقضون الشتاء في القطب الشمالي، ويتوغّلون في عمق القارة القطبية الجنوبية، ويُبحرون حول العالم .أما الجغرافيون؟ فقد أصبح عليهم قضاء وقتهم في هدوء المختبرات لدراسة الفيزياء، وإلا تخلّفوا عن ركب الفيزيائيين المنطلقين في بعثات استكشافية.

أصبح كوكب الأرض اليوم مختبرًا فيزيائيًا كبيرًا، وتُجري فيه تجارب تَتَطلب رحلات شديدة الغرابة تُثير غيرة أعظم المستكشفين في التاريخ .ومن بين هذه المجالات، تحتل الجيوفيزياء البحرية مكانة الصدارة .تُبحر سفينة خشبية صغيرة فوق أمواج المحيط. لا، ليست سفينة من أسطول القراصنة في القرن التاسع عشر، بل إنها السفينة غير المغناطيسية "زاريا"، التي يستخدمها الفيزيائيون السوفييت

لدراسة المجال المغناطيسي للأرض .ولا يمكن إبهار العلماء على متن "زاريا" بحكايات البلاد الغريبة، أو الأمطار الاستوائية، أو حرارة المناطق المدارية، أو عادات سكان بولينيزيا.

سفينة أخرى هي "فيتياز"، وهي مختبر فيزيائي عائم أيضًا . والعلماء على متنها ليسوا مجرد أعضاء في البعثة، بل هم من يُوجّهون القبطان إلى الوجهات المطلوبة وفق خططهم البحثية، والتي هي في غاية التنوع والإثارة.

وإليك مثالًا واحدًا:

تتجاوز أعماق المحيط ارتفاع جبل إيفرست .فهل المياه في قاع المحيط، على بعد كيلومترات من السطح، ساكنة أم متحركة؟ هل يمكن لقطرة ماء أن تصعد من تلك الأعماق إلى السطح؟ وإذا كان ممكنًا، فكم من الوقت يستغرق ذلك؟

قد يقول القارئ: "ما هذه الأسئلة الغريبة؟ من يهتم بالإجابة؟"

لكن في الأربعينيات، طُرح اقتراح باستخدام قاع المحيط كمكان للتخلّص من نفايات الصناعة الذرية .لكن ماذا إذا كانت المياه تنقل السموم المشعة من الأعماق إلى السطح؟ ماذا سيحدث للأسماك؟ وللناس الذين يأكلونها؟

ومن هنا، أصبح الزمن الذي تحتاجه المياه لتصعد إلى السطح مسألة حاسمة .فإن كان أطول بكثير من زمن تحلّل المواد المشعة، فإنها ستصل للسطح وهي غير ضارة .أما إن لم يكن كذلك؟ فمن ذا الذي يجرؤ على إلقاء نفايات مشعة في المحيط؟

ومن هنا نشأت أهمية دراسة حركة المياه في أعماق المحيطات .تعاون في هذه المهمة الفيزيائيون النظريون والتجريبيون معًا.

كان على التجريبيين أن يتعلّموا كيفية قياس سرعة التيارات المائية على أعماق تصل إلى آلاف الأمتار، رغم أن السرعة قد لا تتجاوز بضعة سنتيمترات في الثانية .ونظرًا لصعوبة القياسات، إن لم تكن مستحيلة، طلب من النظريين التعاون في حساب هذه التيارات .وكان جواب الفيزيائيين على هذا السؤال بالغ الأهمية لمصير المحيطات.

اخترع التجريبيون عوامات ذات طفو متعادل يمكن إنزالها إلى الأعماق الكبيرة .وحين تتتبّع العلماء تحركاتها على مدى فترات طويلة، اكتشفوا أن هناك اختلاطًا ملحوظًا للمياه في قاع المحيط .وكان هذا بمثابة "إشارة تحذير أولى" ضد التخلص من النفايات المشعة في المحيط .ورغم وجود خلاف بين النظريين حول النتائج النهائية، إلا أنهم أجمعوا على نتيجة مهمة :بإمكان جزيئات الماء أن تصعد من القاع إلى

السطح في زمن يُقارن بزمن تحلّل أكثر العناصر المشعة الموجودة في النفايات.

وهكذا، أثبت الفيزيائيون التجريبيون والنظريون بما لا يدع مجالًا للشك أن هناك خطرًا حقيقيًا من تلوث المحيط إذا استُخدم كمكبّ للنفايات المشعة.

ومهنة أخرى يزاولها الفيزيائيون هي "الاستكشاف الجيولوجي."

يوجد فرع من الجيوفيزياء يُعرف بـ"قياس الجاذبية"، وهو معني كما يدل اسمه بقياس قوة الجاذبية .ففي مناطق مختلفة من الأرض، يتفاوت وزن نفس الجسم (أي قوة جذبه نحو الأرض) .ويتم رصد هذا الفرق باستخدام أدوات دقيقة مذهلة، منها ميزان الالتواء المصنوع من الكوارتز .يتكوّن من خيط أفقي من الكوارتز، مُثبت عليه ذراع حساسة .عندما يُعلق عليه وزن، يلتوي الخيط قليلًا، ويتم قياس القوة بدقة تصل إلى مليون جزء من الغرام.

يأخذ الفيزيائيون أدواتهم في رحلات بعيدة، ويُراقبون سلوك الجاذبية .أي تغير في قوة الجاذبية عن المعيار المتوقّع في مكان ما قد يشير إلى وجود معادن تحت الأرض .بالنسبة للفيزيائي، فإن "الاضطرابات المحلية في الجاذبية" تُشبه عصا سحرية تُشير إلى الكنوز الدفينة.

وهذه الطرق مفيدة أيضًا في التنقيب عن النفط .فطرق قياس الجاذبية تكتشف بسهولة القباب الملحية تحت الأرض (تقل الجاذبية فوقها)، وغالبًا ما يكون وجود الملح مقرونًا بوجود النفط .وقد اكتُشفت العديد من الحقول النفطية في كازاخستان بهذه الطريقة.

ولا شك أن مهنة الجيوفيزياء مُمتعة، خاصة لمن يحبّ السفر . لكن ماذا إذا تعب المرء من الترحال؟ هل عليه تغيير مهنته؟ بالطبع لا؛ فبإمكان الجيوفيزيائي أن يعمل بنجاح في المختبرات أيضًا.

وربما تبدو كلمات "جيوفيزيائي" و"مختبر" غريبة في تركيبها .فالجيوفيزيائي يدرس الطبيعة، ويجب أن تُركّب أدواته في الميدان لكشف خصائص تدفّق الأنهار، وحركة الرياح، ولمعان البرق – وهي أمور لا يمكن تحديدها داخل جدران المختبر .ومع ذلك، حتى لو تجاهلنا الأعمال التقنية لبناء ودراسة هذه الأجهزة، يبقى بإمكان الجيوفيزيائي أن يكرّس حياته لدراسة الكون من خلال نمذجة الظواهر الطبيعية .بل إن هذا في بعض الحالات هو الأسلوب العلمي الأفضل.

لا شك أن التقاط البرق الحقيقي بواسطة أجهزة في عاصفة أمر مثير .لكن العواصف لا تحدث كثيرًا، كما أن الطبيعة لا

تُقدّم الظواهر "النقيّة"، بل تأتي بها مختلطة بعوامل عرضية مُشوّشة .لهذا، لا يمكن فهم قوانين البرق فهمًا دقيقًا دون دراسة "البرق الصناعي" في ظروف مختبرية. ففي منشأة مخبرية، يمكن اختبار دور كل عامل على حدة قبل التحقق من القواعد في الطبيعة، حيث تتفاعل العوامل مجتمعة.

الحرارة الفائقة في الشمس، والضغوط الهائلة في باطن الأرض، والفراغات العالية أو الهواء شديد التأيّن – كلها يمكن محاكاتها في المختبرات، لتُسهم الدراسة في استنتاجات بالغة الأهمية لعلوم الأرض.

الفصل الخامس عشر: الفيزيائيون والشعراء

...وهو الفصل الذي يجد فيه المؤلف نفسه غير قادر على البقاء على الهامش في النقاش الدائر حول موقف الفيزيائيين من الفن، وموقف الشعراء والفنانين من الفيزياء. ففي صحافتنا نوقشت القضية تحت عنوان "الفيزيائيون والشعراء"، بينما يُعرف الأمر في الخارج بـ "مشكلة الثقافتين."

من يستمع يوميًا إلى الراديو، ويشاهد التلفاز، ويسافر في طائرات نفاثة، ويرى صورًا لوجه القمر المخفي، ويرتدي ملابس من النايلون، لا حاجة لأن يُقال له إن إنجازات الفيزياء أصبحت جزءًا لا يتجزأ من حياته – ولن أفعل ذلك .لكن غزو الفيزياء لحياتنا اليومية لا يقتصر على الأشياء الجديدة، بل يمتد أيضًا إلى الأفكار الجديدة .فالطريقة العقلية التي يتبعها الفيزيائيون بدأت تتسلل شيئًا فشيئًا إلى عالمنا الروحي .ومن وجهة نظري، فإن هذا "غزو الأفكار" لا يقل – وربما يفوق – أهمية عن "غزو الأشياء."

أن نُقارب أحداث العالم الإنساني بنفس المنهج الذي نتعامل به مع ظواهر الذرات والجزيئات والخلايا، يعني أن نبحث عن القوانين الموضوعية التي تحكم الظواهر المتكررة .أن نشرح

ظاهرة ما، يعني أن نُظهر أنها ناتجة عن قانون عام للطبيعة . المنهج الفيزيائي في دراسة الأحداث يتجاهل كل ما لا يمكن قياسه أو حسابه .فبالنسبة للفيزيائي، لا يوجد مفهوم "الله" ما دام لا يمكن إثباته بواسطة القياس أو الحساب .وفي هذا المعنى، فإن مفاهيم مسار الإلكترون وتزامن الأحداث ووجود الإله متشابهة: كلها لا تحمل معنى علميًا.

التفكير العلمي يرفض الأقوال التي لا يمكن إثباتها .كل تصريح يجب أن يُثبت بتجربة أو يُستنتج منطقيًا من مقدمات لا جدال فيها.

العالم الطبيعي يصف العالم كما هو .ولا يستخدم كلمات مثل "ضروري"، أو "جيد ."وحين توجد هذه الكلمات ضمن العلاقات الإنسانية، يحاول الباحث شرحها، أي إثبات أن الأفعال الضرورية أو الجيدة هي نتيجة منطقية لعلاقات معينة بين البشر أو بينهم وبين البيئة – تمامًا كما أن حركة قمر صناعي في مدار معين هي نتيجة للجاذبية الكونية.

من الطبيعي أن مثل هذا النهج في تفسير حياة الإنسان والمجتمع سيجد كثيرًا من المعارضين .المنهج العلمي، الذي استخدمه ماركس ببراعة لتفسير الأحداث التاريخية، واجه اعتراضات من الفلاسفة البرجوازيين ورجال الدين .فإذا اعتُبرت الأحداث البشرية مجرد عمليات تخضع لقوانين

معينة، فإن هذا ينسف فكرة وجود الله، وأيضًا فكرة أن "الزعماء المستنيرين" هم صُنّاع التاريخ.

والعلم الطبيعي الحديث يمضي أبعد من ذلك؛ فهو يسعى لتفسير سلوك المجتمع ككل، وكذلك سلوك أفراده.

وبما أن طريق العلم هو في البحث عن القوانين العامة، فإن تطبيقه على الإنسان يبدو في البداية وكأنه يعني غياب الاهتمام بالأفكار والأفعال والمشاعر الفردية – وهي المواضيع الأساسية للفن .وقد استخدم العديد من المفكرين هذا التصوّر للقول بوجود هوّة بين عالمي العلم والفن.

هذه ليست قضية جديدة .في عصرنا، طرحها الكاتب الإنجليزي "سير تشارلز سنو"، ثم نوقشت لاحقًا على يد "روبرت أوبنهايمر"، و"ألدوس هكسلي"، و"ليونيل ترلنج"، وآخرين .وفي بلادنا، دارت نقاشات حادة حولها في الصحافة . وقد أشعلها فَنّانون قلقون من تراجع دورهم كـ"مهندسي النفوس البشرية ."وكانت حجّتهم الأساسية هي الادّعاء بوجود فقر روحي لدى من يجهلون الفن .وقد ردّ العلماء بقوة، رافضين الادّعاء بأن التوجّه نحو العلوم الطبيعية يُفضي إلى خواء روحي.

وفي النهاية، توصّل الطرفان إلى أن الخلاف ناتج عن سوء فهم، وأنه لا أساس له في الواقع .ومع ذلك، أجد أنه من المفيد تخصيص بعض الصفحات لـ"غزو الفيزياء للفنون."

مهما اختلفت الآراء، فإن مجرد طرح مسألة "الفن والعلم" يدل على التأثير المتزايد للفكر الفيزيائي في حياة المفكرين – وهو ما يجعلها تنتمي إلى مضمون هذا الكتاب .والمشكلة كبيرة، لكنني أرغب في التركيز على سؤالين فقط:

- هل لدى أصحاب العقل العلمي، وخاصة الفيزيائيين، موقف خاص تجاه الفن؟
- إلى أي مدى يؤثر تطور العلم على الفن المعاصر؟

أعترف بشيء من التحفظ أنني أبدأ بالإجابة على السؤال الأول – عن موقف الفيزيائيين من الفن .فمن المعروف أن الأذواق تختلف بدرجة كبيرة .ومؤخرًا، نشرت مجلة السينما "إكران" استطلاعًا للرأي بين قرّائها، وكانت آراء المشاركين متباينة تمامًا، مما دفع المجلة للاستنتاج بأن الأمر يتطلب استطلاعًا أكثر شمولًا للحصول على نتائج دقيقة .وهذا طبيعي تمامًا، فالفروق القومية، والظروف الاجتماعية، والعمر، والتنشئة الأسرية، حين تتداخل مع الميول الفطرية، تُنتج أفرادًا مختلفين بشكل يجعل من غير المتوقع أن تتفق آراؤهم حول الفن.

وبالنسبة لي شخصيًا، أقول إنني لم أُجرِ أي استبيان بين زملائي، لذا حين أُقدّم بعض التعميمات، فإنني أُنبّه أنني لن أُعاند أحدًا إن خالفني فيها.

بدايةً، العقل الفيزيائي يُنمّي عادة الاعتماد على الرأي الشخصي أكثر من آراء الآخرين .ولذلك، يجب التعامل مع أهل العلم بتفهّم حين يُصرّون على استقلاليتهم في تقييم الأعمال الفنية، ويرفضون الخضوع لـ"تنويم" أحكام الآخرين.

ومن السمات التي ألاحظها في أذواق الفيزيائيين – والتي أراها أكثر أو أقل شيوعًا – أنهم يُحبّون أن يكون للفيلم أو المسرحية أو الرواية حبكة مثيرة .غالبًا، لا يُثير إعجابهم الحديث عن "عمق علم النفس" لدى الكاتب، أو "الفلسفة الرفيعة"، أو "الشكل الفني البديع ."بل يُفضّلون المغامرة، والخيال، والروايات البوليسية.

وربما لا تقتصر هذه السمة على الفيزيائيين وحدهم، بل تشمل كل من يُكرّس نفسه لعمله .فإذا لم يُحرّكك الكتاب، فإن ذهنك يعود حتمًا إلى عملك الذي تحب .وهناك تفسير آخر لهذه الميول :فالعطش الطبيعي للنشاط، حين لا يجد متنفسًا في العمل، يبحث عنه في الأدب الذي يوفّره.

ومن هنا ظهرت فكرة أن العلماء لا يتأثرون بالأعمال الفنية التي تتميّز بالتعبير العاطفي أكثر من الحبكة .لكن، إن كانت

هذه الأعمال واقعية وخالية من التصنّع أو الشاعرية المبتذلة، فإنها ستجد عددًا طبيعيًا من المُعجبين في الوسط الأكاديمي.

أما فيما يخص الموسيقى، والشعر، والرسم – تلك الأشكال التي يخاطب فيها الفنان القلب البشري "متجاوزًا العقل..."

ففي الغالب، يشعر أولئك الذين كرّسوا حياتهم للعلم بسعادة بالغة حين يتعلّمون كيف يُصغون إلى الشعر أو الموسيقى، وكيف يُشاهدون اللوحات .وانطباعي أن الفيزيائيين لا يختلفون في هذا؛ فضولهم الفطري يساعدهم على التوغّل بعمق أكبر في عالم الفن.

في البداية، يرغب الفيزيائي في أن يفهم ما الذي يدفع الكثير من الناس للوقوف ساعات أمام لوحة لرويريخ أو غوغان، أو للاستماع بخشوع إلى قصائد بلوك أو أخماتوفا .وحين تنقضي هذه الفضولية الأولى، تبدأ تناغم الكلمات والألوان والأصوات بالتسلل مباشرة إلى القلب.

من يُحب التفكير المنطقي ويُجيده، قد يفقد شيئًا من تلقائية التذوّق الفني .أما أنا، فكثيرًا ما يفشل الفنان في مخاطبة روحي مباشرة .لكن سيكون من الخطأ الاعتقاد بأن امتزاج العقلانية بالمشاعر التي تهضم الفن يُفقِر الحياة الروحية للإنسان .فاللذة الجمالية التي يمنحها العمل الفني لا تتضرر بوجود العقل، بل تُحفَّز به .أنا أُقدّر الأعمال الفنية ليس فقط

لما تُثيره من مشاعر فورية، بل أيضًا لما تُشعل من أفكار – سواء أراد الفنان ذلك أم لا – وهذه الأفكار بدورها تُصبح مصدرًا للانفعال.

وأعتقد أن هذا النوع من التذوّق الفني يُميّز أهل مهنتي.

كل هذا يرتبط مباشرة بالإحساس الجمالي بالقوانين والحقائق العلمية، كما ناقشنا سابقًا في الحديث عن جمال المعادلات والقوانين .فالقدرة على التأثر بفكرة جميلة وطريقة التعبير عنها تُكمل بشكل طبيعي التذوّق المباشر للعمل الفني .ولهذا، أجد من المستحيل قبول الرأي القائل بأن العقلانية تُفقِر الإنسان وتُجفّف روحه.

إلى جانب وظيفته في الترفيه وتحريك المشاعر، يُكلَّف الفن أيضًا بمهمة غرس الأفكار وقواعد السلوك .يرى البعض أن هذه هي مهمته الأساسية .أما الناضجون، فيعتبرون أنفسهم متعلمين، ونادرًا ما يلجأون إلى الفن بحثًا عن "حقائق حيّة ." فالفن، كحال الطبيعة، يُعلّمنا دون أن نشعر، شيئًا فشيئًا . والفيزيائي، الذي يُمارس التفكير المنطقي كمهنة، ربما يكون أقل ميلًا للبحث عن أفكار خالصة في الفن مقارنةً بغيره من أصحاب المهن.

فالحق أن الإنسان أشبه بآلة موسيقية ذات أوتار كثيرة، لكن الحياة تعزف ألحانها ضمن أوكتاف واحد فقط .أما الأوتار

التي لم تُمسّ، فهي أيضًا تتوق إلى أن تُعزف – وهذا هو غريزة الحياة.

الموسيقى، والشعر، والرسم، تُحرّك تلك الأوتار المهملة بفعل روتين الحياة والعمل اليومي .وهذا، في رأيي، هو جوهر المسألة.

أما السؤال الثاني الذي أردت مناقشته، فهو تأثير العلم على الفن.

وهذا التأثير واضح من خلال الاهتمام المتزايد للفنانين بالعلم . فما الذي يدفع الشعراء لحضور الندوات العلمية، وقراءة مجلة "العلم والحياة"، والإصغاء إلى صوت الفيزيائيين باهتمام وتقدير؟

لقد تغيّر الموقف من العلم أمام أعين أبناء جيلي .حين كنت طفلًا، كان يُتوقع من الإنسان المثقف أن يعرف شيئًا عن الرسم والمسرح والأدب؛ أما قوانين الطبيعة وآلياتها، فلم يكن عليه أن يعرف عنها شيئًا .كان يبدو واضحًا أن الفن وحده قادر على تقديم فهم لمعنى الحياة، وقواعد السلوك الإنساني، والعلاقات بين البشر والمجتمع – أي كل ما يُشكّل جوهر الوجود.

وأتذكر جيدًا كيف كان طلاب الآداب في أيام دراستي يُظهرون احتقارًا شبه صريح للعلوم الطبيعية، وكانوا واثقين تمامًا أن معرفة "الحقائق الإنسانية العامة" لا علاقة لها بمشكلات العلم الطبيعي.

لكن هذه الصورة تغيّرت .واليوم، يُخاطب الفيزيائيون الشباب الجماهير بثقة، ويُصغي إليهم زملاؤهم في الأدب والتاريخ باحترام.

أصبح من الضروري الآن للشعراء والفنانين أن يكتسبوا فهمًا للفيزياء والبيولوجيا .وبات العاملون في الفن يتقبّلون بهدوء الاتهامات بجهلهم بأساسيات نظرية النسبية أو ميكانيكا الكم . واليوم، لا يجوز أن يُقال إن آينشتاين رياضي، كما لا يجوز أن يُقال إن بيكاسو موسيقي – وقد أورد رئيس جامعة موسكو مثالًا على مثل هذا الجهل.

وباختصار، فإن الشعراء يدرسون العلوم الطبيعية .ولكن لماذا؟

لو أمكننا استخدام آلة الزمن التي تخيّلها "هـ. ج. ويلز" لنقل آلاف الأطفال من اليونان أو روما القديمة إلى عصرنا، فإن تطوّرهم التعليمي والتربوي لن يختلف كثيرًا عن إنجازات أو إخفاقات أطفال اليوم .فالتغيرات الجينية عملية بطيئة، وألفا سنة لا تُعدّ أكثر من ثانية في عمر التطور.

من المرجّح أن أرسطو وديموقريطس سينتهي بهما المطاف في مدرسة للمواهب الخاصة، ويتعلّمان ميكانيكا الكم بنجاح . وسوف يكتب سوفوكليس وأريستوفانيس مسرحيات نفسية من فصلين، أما الشباب الذين لا يملكون موهبة في الكتابة أو الرسم، فسيُتقنون مهنًا مثل تقني الراديو أو صانع النماذج، وفي أيام عطلتهم سيحضرون مباريات كرة القدم بنفس الحماس الذي كانوا يحضرون به معارك المصارعين في حياتهم السابقة.

وفي الحقبة التي نستطيع استكشافها عبر الوثائق التاريخية، لم تتغيّر طبيعة الإنسان ولا شهواته .لكن ممثلي العصور المختلفة يختلفون كثيرًا، وهذه الفروق تعود إلى البيئة الاجتماعية والعلاقات المجتمعية – أي إلى التربية والتعليم . ومع ذلك، ظل الإنسان في كل العصور هو الإنسان، وهذا ما تؤكده الفنون بلا شك.

فالموضوعات الأزلية تُشكّل جوهر الفن: الحب والغيرة، الصداقة والحرب، تناقضات الطبيعة البشرية ...ولهذا، لا تزال مآسي شكسبير، بل حتى مآسي اليونان القديمة، تُعرض بنجاح دائم .وتُحرّك قصائد "رونسار" مشاعرنا كما حرّكت مشاعر معاصريه .ولا تزال تماثيل "براكسيتليس" وصورة "الملكة نفرتيتي" تُبهج العين وتُستخدم كمقاييس للحكم على موهبة النحاتين المعاصرين.

لكن كل جيل جديد من الفنانين يسعى للتعبير عن العالم بطرق جديدة .فبينما يبقون ضمن دائرة الموضوعات الأزلية، يحاولون تحقيق ذلك من خلال أشكال جديدة، ومن خلال مزج هذه الموضوعات الخالدة بعلاقات اجتماعية جديدة.

والفنان الحقيقي، الذي يرغب في أن يُضيف شيئًا خاصًا إلى الموضوعات الأزلية، يُقبل بشغف على دراسة العصر الذي يعيش فيه، ويبحث عن ألوان المرحلة التي تُضفي على عمله طابعًا لا يُضاهى.

لكن ملامح العصر لا تقتصر على الظروف الاجتماعية فقط؛ إذ إن تقدم العلم قاد إلى اكتشافات تكنولوجية تُؤثر في مصائر العالم. وقد دفعت مكاسب العلوم الطبيعية الناس إلى إعادة تقييم كثير من القيم الأخلاقية. يكفي أن نتذكر الأدلة التي تُشير إلى الطبيعة المادية للحياة الروحية.

ومن الطبيعي أن لا يتغافل الفن عن هذه التغيّرات .فالفكرة – وإن كانت لاواعية – بأن على الفنان أن يبحث في تأثير العلم على الحياة عن ألوان جديدة لم تُختبر بعد، تُسهم في التفرّد الفني للموضوعات الأزلية، تبدو منطقية تمامًا.

وتبدو نتائج هذا الاهتمام الفني بالعلم واضحة بالفعل :فقد ظهرت البوزيترونات والنيترونات في القصائد، وسُمّيت اللوحات التجريدية بأسماء مثل "تحوّلات لورنتز"، وعُرضت

مسرحية بعنوان "الفيزيائيون"، وبات أبطال كثير من الروايات موظفين في مراكز بحثية، وازداد إنتاج روايات الخيال العلمي .لكن هذه مجرد مظاهر سطحية، أما الثورة الجوهرية في الفن، فهي لم تبدأ بعد بحق.

ومن الخطأ الاعتقاد بأن العلم لا يمكن أن يتغلغل في الفن إلا في موضوعاته .فهدف الفنان في النهاية هو إيصال مشاعره ورؤيته للواقع إلى القارئ أو المُشاهد.

ينبغي لغزو الفيزياء للفن أن يُفضي إلى نشأة رؤية شعرية جديدة للأشياء والبشر .وسيحدث عاجلًا أم آجلًا أن يُصبح الإدراك الفني للعالم مشروطًا بمنظور التفكير العلمي.

وقد بدأت بالفعل بعض الإشارات على أن هذا المسار سيؤثر يومًا ما على الشعر .فحين يفهم الإنسان طبيعة الأشياء، لا يستطيع أن يكتب عنها كما كان يكتب وهو يجهلها.

ويُقال إن الشاعر الإنجليزي جون كيتس كان يكره نيوتن لأنه شرح قوس قزح وقطع بذلك صلته الشعرية بالقوى السماوية . كان كيتس يظن أن التفسير العلمي أفقَر الشعر. أما اليوم، فنحن نعلم أن ذلك غير صحيح .لكن المهم في اعترافه هو أنه، ما إن يكتسب الإنسان المعرفة، لا يمكنه أن يتجاهلها – لا في إدراكه، ولا في التعبير الفني عنها.

فهل كان كيتس – ومؤيّدوه من معاصريه وحتى يومنا هذا – مُحقين في رأيهم أن العلم يُزيل الطابع الشعري عن الحياة؟ لا أعتقد ذلك.

من يرى أن العلم يُعيق الشعر، كأنما يزعم أن الشعر ينتهي حين نبدأ بإدراك الروابط بين الظواهر، أو حين تتكشف أسباب المشاعر الإنسانية وأهوائها.

أليس من الأصح القول إن معرفة طبيعة الأشياء تُغني الصور الشعرية؟ المعرفة التي لم تكن مُتاحة لروّاد الشعر السابقين يمكنها وحدها أن تمنح الفنان كلمات وألوانًا جديدة ليُبدع أعمالًا راقية في عصرنا.

يُظهر الأدباء والفنانون السوفييت اهتمامًا بالعلم أكبر من نظرائهم في الخارج، وهذا أمر طبيعي، لأنهم نشأوا في تقليد واقعي .أما اللامبالاة تجاه المعرفة العلمية التي تميّز فناني الغرب، فقد أدّت إلى أن اقتصرت جهودهم في الابتكار على الشكل وحده .غياب الحبكة، الولع بالأشكال، والروايات "الجديدة" في الأدب – كلها نتائج لفشل البحث عن التجديد عبر الطرق التقليدية لتطوّر الفن .والغريب أنهم لم يُفكروا في الآفاق اللا متناهية التي يفتحها التقدم العلمي للإبداع الفني .لم يدركوا أن طالما رؤيتنا للطبيعة والإنسان تتطور، فإن الواقعية لن تنفد.

ختامًا بقلم ألكسندر كيتايغورودسكي

لقد كُتبت صفحات وفصول كثيرة من هذا الكتاب خصيصًا لفائدة القرّاء الشباب المتأملين في اختيار مستقبلهم المهني.

كان هدفي أن أُبيّن ما تتضمّنه مهنة الفيزياء، وأن أُظهر الفرص غير المحدودة التي تقدمها هذه العلوم وتطبيقاتها في كل مجالات الحياة تقريبًا.

من المؤكد أن الفيزياء اليوم، كمهنة، لم تعد بحاجة إلى ترويج؛ لكن المعرفة التي يكتسبها الطالب عنها في المدرسة غالبًا ما تُعطي انطباعًا خاطئًا عن ماهيتها .فشمولية مناهج البحث والنظريات الفيزيائية تبقى خارج الإطار المدرسي . والشاب أو الفتاة حين يختارون التخصص يجدون أنفسهم ممزقين بين رغبات تبدو متناقضة.

ومن الطبيعي أن المواطن الواعي اجتماعيًا يرغب في العمل حيث يكون وطنه بحاجة إليه، ولذلك ينجذب الكثيرون إلى الكيمياء .وربما يجد البعض أن الأجهزة الفيزيائية أكثر جاذبية من أنابيب الاختبار الكيميائية .وقد يرغب آخرون في السفر ورؤية البلاد، بينما يحبون أيضًا الحسابات الدقيقة.

ولهذا، شعرت بالحاجة إلى أن أُبيّن أن هذه الرغبات وغيرها ليست متضاربة، بل يُمكن أن تتكامل بشكل طبيعي.

ولو أردت تلخيص هدف هذا الكتاب، لقلت إنه كُتب لبيان دور ومكانة الفيزياء في الثقافة المعاصرة.

لقد تزايدت أهمية العلم في الحياة العامة بشكل هائل في العقود الأخيرة .ومع ذلك، فليس من المدهش أن الكثير من المثقفين في الغرب لا يزال لديهم تصور غائم عن جوهر العمل العلمي.

نواجه أحيانًا أحكامًا مبنيّة على نظرات أحادية مذهلة .فهناك من يعارض الفيزياء بحُجّة التلوث الإشعاعي، القنبلة الذرية، الصواريخ – وبلا علم، ما كانت هذه "الهدايا" لتوجد .وهذه ليست حججًا جديدة؛ فقد قيل كلام مشابه في مواجهة الأتمتة . لكن من الواضح أن الضرر الناتج عن العلم يرجع إلى طبيعة المجتمع الرأسمالي، لا إلى العلم ذاته.

وهناك من يُدين العلم، ومن يريد فصله عن تطبيقاته العملية، ومن ينظر إليه فقط كوسيلة لزيادة الإنتاج المادي.

وبين هذه الأطراف المتناقضة، شعرت بأن من المفيد أن أتناول بالتفصيل تقسيم العلوم إلى طبيعية وتطبيقية، وأن أُظهر تفاعلها .وكان هذا هدفي الأساسي.

نحن نشهد اليوم بزوغ رؤية موحّدة لطبيعة المادة الحيّة وغير الحيّة .فالحدود بين فصول العلم الطبيعي بدأت تتلاشى، وفكرة

وجود "حامل غير مادي" للعمليات الكيميائية والبيولوجية تنهار.

لكن هذه الإنجازات التي تُثبت خضوع الطبيعة كلها لقوانين فيزيائية موحّدة، تواجه كثيرًا من المقاومة من قِبل المتخصصين المُتشبثين بالأفكار المثالية أو الضيقة.

والتعليم المدرسي ما يزال يُقيم جدرانًا عالية بين التخصصات العلمية.

لهذا، رأيت أنه من المهم الحديث عن تأسيس قاعدة مشتركة – وهي قوانين الفيزياء – لكل العلوم الطبيعية .وكان هذا هو الهدف الثاني الذي سعيت لتحقيقه.

لقد كُتب هذا الكتاب لجمهور واسع من القرّاء.

فهل كنت مُحقًا في التعويل على اهتمام جمهور بهذا الاتساع؟

أعتقد ذلك .فالإنسان فضولي بطبعه، واهتمامه بجميع أوجه الحياة الاجتماعية عميق، وحين تعلّم الربط بين الأحداث المختلفة، أصبح سيد الطبيعة.

وهذه الصفات الرائعة للإنسان تمنحني الثقة في أن الموضوعات التي تناولها الكتاب ستلقى اهتمامًا عامًا .وهذا الإطراء الموجّه إلى قرائي لا يُقصد به استمالتهم؛ فإن كان الكتاب سيئًا، فلن تُنقذه أعظم الموضوعات ولا أصفى النيّات.

نبذة عن المؤلف

أ.م.د يحيى حمدي محمد إبراهيم البشار

- أستاذ مساعد دكتور في علوم المواد (فيزياء)
- دكتوراة الفلسفة في العلوم (تخصص فيزياء) – كلية العلوم- جامعة الأزهر بالقاهرة - مصر
- ماجيستير هندسة الجوامد و التصنيع- كلية الهندسة - جامعة انها – كوريا الجنوبية
- دبلوم تربوي – تعليم الكتروني- كلية الدراسات التربوية – الجامعة المصرية الأهلية للتعليم الالكتروني - مصر
- دبلوم تربوي- تربوي عام- كلية الدراسات التربوية – الجامعة المصرية الأهلية للتعليم الالكتروني - مصر
- دبلوم فيزياء إشعاعية- كلية العلوم – جامعة عين شمس - مصر
- دبلوم تفاعل الليزر مع المادة – معهد الليزر – جامعة القاهرة - مصر

- بكالوريوس فيزياء- كلية العلوم – جامعة الأزهر بالقاهرة- مصر

مناصب علمية:

- عضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي بجمهورية مصر العربية
- خبير و تكنولوجيا الليزر من نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية
- استشاري الليزر و التكنولوجيا النووية من نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية
- عضوسابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك لمجلس نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية

إصدارات للمؤلف:

له العديد من الأوراق البحثية العلمية والمدرجة في الموقعين الآتيين:

https://scholar.google.com/citations?user=ygx78e8AAAAJ&hl=en

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56177724400

1- "مقدمة في كيفية كتابة ورقة بحثية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع,10552/2025 ,ISBN: 978-977-95-2754-3 **[Arabic language]**
2- "أكتب سيرتك الذاتية بطريقة مبسطة وعملية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7972 , ISBN: 978-977-95-6456-2, **[Arabic language]**

3- "مبادئ الفيزياء الاجتماعية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2024/13156, ISBN: 978-977-94-9583-5 **[Arabic language]**

4- "فيزياء و كيمياء ريادة الأعمال", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2025/16784 , ISBN: 978-977-95-3378-0, **[Arabic language]**

5- " لون مع طفلك كتاب تلوين الأشكال الهندسية طرق تعليم الأطفال بالألوان", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7970 , ISBN: 978-977-95-6454-8, **[Arabic language]**

6- " لون مع طفلك كتاب تلوين الارقام باللغة العربية طرق تعليم الأطفال بالألوان", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7971 , ISBN: 978-977-95-6455-5, **[Arabic language]**

7- " مدخل لمبادئ وطرق التدريس الجامعي طرق تدريس العلوم عامة والفيزياء خاصة طريقة فاينمان وتقنية

الطماطم", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 10553/2025,ISBN: 978-977-95-2755-0 **[Arabic language]**

8- "التعليم البنكي و التعليم الحواري", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2024/13155, ISBN: 978-977-94-9582-8 **[Arabic language]**

9- "مدخل لإدارة المعرفة", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع,16783/2025 ,ISBN: 978-977-95-3377-3 **[Arabic language]**

10- " استقلالية المتعلم من منظور البيداجوجي و الأندراجوجي و الهيوتاجوجي", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع,16782/2025 ,ISBN: 978-977-95-3376-6 **[Arabic language]**

11- " عالم السيارات للأطفال ، شعارات و سيارات من جميع أنحاء العالم", prepared by Omnia Mohamed , ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر

والتوزيع, 2023/26753, ISBN: 978-977-7782-4 **[Arabic language]**

12- "أعلام و عملات الدول العربية للأطفال", prepared by Omnia Mohamed , ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/26752, ISBN: 978-977-7781-7 **[Arabic language]**

13- "وظائف الفيزيائيين في مصر و العالم", الطبعة الثانية, prepared by ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7969 , ISBN: 978-977-95-6453-1, **[Arabic language]**

14- "Undergraduate First Year Physics Laboratory Manual", Deiaa Moubarak and ***Yahia Elbashar*****,** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/19466, ISBN: 978-977-94-7123-5 **[English language]**

15- " مبادئ ومعايير ضمان الجودة والاعتماد لمؤسسات التعليم العالي في جمهورية مصر العربية", prepared by Omnia Mohamed , Mohamed Abdelwahab, and ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/13175, ISBN: 978-977-94-6252-3 **[Arabic language]**

16- "A tutorial Guide for operating Hydroponic system using Solar Energy",

prepared by Mohamed Mostafa Bisheer and ***Yahia Elbashar***, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7775, ISBN: 978-977-94-5201-2,**[English language]**

17- " A Guide to Construct a Solar cell system for Hydroponic application", prepared by Ahmed Gomaa and ***Yahia Elbashar***, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7774, ISBN: 978-977-94-5200-5, **[English language]**

18- " العقرب بين حضارتي العراق القديم ومصر القديمة" ، ", prepared by Omnia Mohamed and ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7772, ISBN: 978-977-94- 5198-5, **[Arabic language]**

19- "وظائف الفيزيائيين في مصر و العالم ", دار الربيع للنشر والتوزيع, prepared by ***Yahia Hamdy*** ، دارالربيع للنشر والتوزيع , 2023/3443 , ISBN: 978-977-94-4679-0 **[Arabic language]**

20- " المصنوعات الزجاجية في مصر القديمة حتى نهاية العصر اليوناني الروماني", prepared by Omnia Mohamed and ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/23393,

ISBN:978/977-94-3934-1 ,**[Arabic language]**

21- " الزجاج ودوره الحضاري عبر العصور المصرية القديمة", prepared by Omnia Mohamed and ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/23392, ISBN:978/977-94-3933-4 ,**[Arabic language]**

22- Lecture Notes in Peening Techniques and its Applications, prepared by ***Yahia Hamdy Elbashar***, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/15970, ISBN:978-977-94-2721-8 **[English language]**

23- Lecture Notes in Glass and Glass Doped Rare Earth, prepared by Omnia Mohamed and ***Yahia Elbashar,*** دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/15969, ISBN:978-977-94-2720-1 **[English language]**,

24- " أسس و قواعد المعادلات في تبسيط علوم فيزياء الرياضيات", Authored and Collected by Aly Saeed and ***Yahia Hamdy Elbashar,*** **[Arabic language]**, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15092, ISBN: 978/977-90-9113-6

25- "Serpent in Ancient Mesopotamia", Authored and Collected by Omnia

Mohamed and ***Yahia Elbashar,*** **[English language]**, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15093, ISBN: 978/977-90-9114-3

26- موضوعات في تبسيط العلوم الفيزيائية " الحديثة", ***Yahia Elbashar*** **,[Arabic language]**, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15094, ISBN: 978/977-90-9115-0

أ.م.د يحيى حمدي محمد إبراهيم البشار

أستاذ الفيزياء المساعد، وعضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا بالقاهرة، وخبير تكنولوجيا الليزر بنقابة المهن العلمية بالقاهرة، وعضو سابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك لمجلس نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية.

يُعدُّ من الباحثين المهتمين بتبسيط العلوم ونشر الثقافة العلمية، وقد أثرى المكتبة العربية بعدد كبير من المؤلفات والدراسات التي تجاوزت ثلاثين كتابًا في مجالات الفيزياء والعلوم التطبيقية، وطرائق التدريس والتعليم الجامعي، وإدارة المعرفة، وضمان الجودة والاعتماد الأكاديمي، وريادة الأعمال، إلى جانب مؤلفات في تبسيط العلوم للأطفال، والآثار والحضارات القديمة، والطاقة الشمسية والزراعة المائية، فضلاً عن عدد من المراجع والمحاضرات العلمية باللغة الإنجليزية.

تتميَّز أعماله بالسعي إلى بناء جسور بين المعرفة العلمية والتطبيقات الحياتية، وإتاحة العلوم بأسلوب مبسط يجمع بين الدقة الأكاديمية وسهولة العرض.